

Resumen

El proyecto trata de aplicar la metodología de mejora continua *Lean Six Sigma* en la operación de filtrado y envasado de una planta química, específicamente en una instalación llamada Futurix, que se compone de dos equipos de filtrado por mallas o bolsa.

En el trabajo se contemplan aspectos teóricos de la metodología, procedimientos tanto administrativos para desarrollar el proyecto como de la propia operación de filtrado. La búsqueda de información, la creación de bases de datos fiables y el análisis de datos tienen gran importancia en su desarrollo para encontrar problemas y situaciones con gran margen de mejora y poder aplicar los conocimientos de *Lean* y de *Six Sigma*.

Una vez hecho el análisis de datos y encontrado los problemas que aportan más margen de mejora, se aplican mejoras para eliminarlos o para reducir su influencia en el proceso. Algunos ejemplos son los movimientos internos que no aportan valor a la empresa, la variabilidad del proceso que impide pronosticar tiempos de filtrado fiables, o la falta de estandarización tanto de los consumibles como de la metodología del proceso que hace aumentar esa variabilidad.

La implementación de mejoras conlleva la instauración de medidas para controlar que el proceso se realice de la forma adecuada. Para ello también se establecen los indicadores de control y el estudio de viabilidad.

Sumario

RESUMEN	1
SUMARIO	2
1. GLOSSARIO	5
2. PREFACIO	7
2.1. Origen del proyecto	7
2.2. Motivación.....	8
2.3. Estrategia del proyecto	9
2.4. Requerimientos previos	10
3. INTRODUCCIÓN	13
3.1. Objetivos del proyecto	13
3.2. Alcance del proyecto	13
4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS. INTRODUCCIÓN A LEAN SIX-SIGMA	15
4.1. Historia de <i>Lean</i> y <i>Six Sigma</i>	15
4.2. Estructura de responsabilidades	16
4.3. Etapas y pasos en <i>Lean Six Sigma</i>	17
4.2.1. Definir	17
4.2.2. Medir.....	19
4.2.3. Analizar.....	20
4.2.4. Mejorar.....	21
4.2.5. Controlar	22
5. DEFINIR	24
5.1. Project Charter.....	24
5.2. SIPOC.....	25
5.3. Voz del Cliente (VOC)	26
5.4. Características Críticas del cliente (CCC)	30
5.5. Business Case	30
5.5.1. Disminución en un 30% de los consumibles	30
5.5.2. Reducción del 30% del tiempo total de filtrado y envasado y reducción del 20% de la variabilidad.....	31
6. MEDIR	32
6.1. Plantear Preguntas	34

6.2.	Revisar datos. Validar el sistema de medida.....	34
6.3.	Recoger nuevos datos	37
6.4.	Responder las preguntas planteadas.	38
6.4.1.	¿Cuál es la media y la variabilidad de los tiempos totales de filtrado/envasado de las diferentes resinas?	38
6.4.2.	¿Hay diferencia en los tiempos de filtrado entre Futurix y otros métodos usados?	39
6.4.3.	¿Hay diferencia en los tiempos y en la variabilidad entre el filtrado y el envasado?	40
6.4.4.	¿La hora de inicio afecta a los tiempos de filtrado y/o la variabilidad?	41
6.4.5.	¿El tanque origen afecta a los tiempos de filtrado y/o la variabilidad?	42
6.4.6.	¿El envasador afecta a los tiempos de filtrado y/o la variabilidad?	43
6.4.7.	¿Los tiempos de filtrado y la variabilidad dependen de si el turno que realizó la tarea es de noche o de día?	44
6.4.8.	¿Qué demoras afectan más a los tiempos de filtrado?	44
6.4.9.	¿Cuánto se tarda en montar los diferentes equipos de filtrado?	45
6.4.10.	¿Cuál es la media de los consumibles que se gastan? ¿Cómo varían según las resinas?	46
6.4.11.	¿La viscosidad y otros parámetros de calidad afectan?	48
6.5.	Cuantificar la situación actual	48
6.5.1.	Visión global del sistema de filtrado y envasado	48
6.5.2.	Visión del sistema de filtrado y envasado centrado en Futurix	50
7.	ANALIZAR	52
7.1.	Reenfocar y concretar el proyecto	52
7.2.	Generación de hipótesis	53
7.3.	Comprobación de hipótesis	54
7.3.1.	Diagrama causa-efecto: Alta variabilidad de los tiempos de filtrado	54
7.3.2.	La resina F muestra muchas demoras	56
7.3.3.	La resina A muestra una alta variabilidad	57
7.3.4.	La resina D se filtra más rápidamente mediante los equipos Futurix	59
7.3.5.	Diagrama causa-efecto: No se usa Futurix regularmente	60
7.3.6.	Los tanques origen afectan a la variabilidad de los tiempos de filtrado	61
7.3.7.	Existen diferencias tanto en la media como en la variabilidad entre los envasadores.	62
7.3.8.	El montaje de equipos, los cambios y la limpieza se consideran demoras. ...	63
7.3.9.	La problemática de la estandarización de mallas.	67
7.4.	Análisis de <i>Gaps</i> , los 5 ¿Por qué? y clasificación de posibles mejoras	67
7.4.1.	7.4.1 Análisis de <i>Gaps</i>	67

7.4.2. Los cinco ¿Por qué?	68
7.4.3. Pick Chart	73
8. MEJORAR	75
8.1. Selección de mejoras	75
8.2. Pruebas y desarrollo de mejoras	80
8.2.1. Reducción de movimientos internos	80
8.2.2. Mejora de la instalación Futurix	81
8.2.3. Estandarización de mallas para los productos estudiados	87
8.2.4. Estandarización del proceso de filtrado Futurix	103
8.3. Implementación	105
9. CONTROLAR	106
9.1. Diseñar un sistema de monitorización	106
9.1.1. Tiempo total mínimo de filtrado	107
9.1.2. Consumibles gastados estimados	110
9.1.3. Cantidad mínima filtrada antes del primer cambio de mallas	111
9.1.4. Cuadro de indicadores y responsabilidades	112
9.2. Valoración	113
9.2.1. Valoración de los sistemas no financieros	113
9.2.2. Valoración de los sistemas financieros	118
9.3. Resumen de las mejoras implementadas	120
9.4. Resumen de etapas	121
9.4.1. Definir	121
9.4.2. Medir	122
9.4.3. Analizar	122
9.4.4. Mejorar	123
9.4.5. Controlar	123
9.5. Lecciones aprendidas	124
9.6. Posibilidad de extensión	124
CONCLUSIONES	126
AGRADECIMIENTOS	127
BIBLIOGRAFIA	128
Bibliografía complementària	128

1. Glosario

Capítol opcional. Quan un document conté signes, símbols, abreviatures, acrònims o termes que poden no ser compresos fàcilment i ràpidament pels possibles lectors haurien de definir-se en una o varies llistes. L'existència d'aquestes llistes no justifica l'omissió d'una explicació sobre aquests elements quan apareixen per primera vegada en el text

2. Prefacio

2.1. Origen del proyecto

DSM es una multinacional holandesa especializada en salud, nutrición y materiales. Según las políticas de la empresa, la ciencia y la investigación son las herramientas ideales para prosperar no solo económicamente, si no también medioambiental y socialmente. DSM ofrece soluciones innovadoras en los campos de la nutrición, protección individual, dispositivos médicos, automoción, electricidad y electrónica y energía alternativa. La empresa obtiene unas ventas anuales netas de alrededor de 10 mil millones de euros con 25.000 empleados.

DSM posee diferentes negocios en base de los servicios que genera. Uno de ellos es *DSM Resins & Functional Materials*, que a la vez se divide en *DSM Coating Resins* y *DSM Functional Materials*.

La fábrica donde se desarrolla el proyecto es *DSM Coating Resins* Parets del Vallés. *DSM Coating Resins* está presente principalmente en Estados Unidos, Holanda, China, Alemania, Taiwán, Japón y España (Parets del Vallés y Santa Margarita i els Monjos).

DSM Coating Resins se encarga de fabricar resinas para la aplicación de tecnologías de revestimiento sostenible tales como *water based*, *powder* y *UV-curing*, cuyo mercado se centra en pinturas, adhesivos y artes gráficas dentro de los sectores del automóvil, decoración, suelos, industria, madera, textil, embalaje, protección marina, carpintería, bienes de consumo, muebles y fachada de edificios.

Algunas de sus marcas son *NeoPac®*, que es un producto de base agua de alto rendimiento para recubrimientos superficiales y manchas, *NeoRez®* que son resinas poliuretanas diseñadas para áreas de alto rendimiento donde se requiere dureza y resistencia a las sustancias químicas, a la abrasión y a los rayos UV. *NeoCryl®*, un polímero acrílico duradero, estabilizador de color y resistente a los químicos usado en metal plástico o madera. Otro ejemplo es *Uralac®*, una resina de poliéster hidróxilo que se usa para aumentar el contenido de sólidos en acabados industriales y revestimientos.

El conocimiento en *DSM Coating Resins* es muy importante, de hecho, se potencia el desarrollo de tecnologías tanto para crear nuevos productos como para mejorar y satisfacer lo que el cliente quiere. Las tecnologías usadas son la *Waterbone* para producir *Water Based*: resinas muy fáciles de aplicar, curar y reciclar. Un ejemplo es el producto *NeoCryl®*. Otra tecnología es *UV Curing* que produce resinas que necesitan ser curadas bajo el efecto

de luz ultravioleta en vez del efecto del calor haciendo que posean propiedades de revestimiento instantáneos y acabados excelentes. *Powder* es una tecnología que se usa desde los años 60 que genera revestimientos en polvo, un ejemplo es el producto *Uralac®*. Y por último *Solventborne*, que genera productos como *NeoRez®*, recubrimientos muy tradicionales en el ámbito del embalaje y tintas.

La sede de la sección *Coating Resins* se encuentra en *Waalwijk*, Holanda, donde se produce gran número de las resinas antes nombradas. La fábrica que se encuentra en la localidad de Parets del Vallés ejerce de pulmón de *Waalwijk*, produciendo principalmente *Water Based Uretans*, Emulsiones y *Solvent Uretans*.

El volumen de producción del año 2015 ha sido alto debido a la alta demanda y a su alta fluctuación. En el año 2016 se previó una subida importante de la demanda, es por eso que el negocio pidió a DSM Parets del Vallés que respondieran siguiendo con el alto target de calidad y con las políticas de seguridad y sostenibilidad.

Una subida de la demanda junto con una capacidad que se mantiene año tras año provoca una logística de la fábrica complicada, que repercute no solo en el departamento de producción si no en el de mantenimiento, almacén, calidad, ventas e ingeniería. Además, con la evolución de la tecnología y los nuevos métodos de producción las industrias buscan una flexibilidad mayor junto con una rentabilidad mayor de sus procesos para seguir siendo competitivos en el mercado.

En la búsqueda de procesos en los que se pueda obtener un gran margen de mejora se observa en el proceso de filtrado y envasado altos tiempos en el proceso y una gran desviación debido a que existen distintos equipos con los que filtrar y envasar (algunos más antiguos que otros) distintos productos con especificaciones muy diferentes y una falta de estandarización de la metodología de la operativa del proceso.

2.2. Motivación

Crear valor añadido a la empresa aplicando los conocimientos adquiridos tanto en el Grado de Ingeniería Química como en la realización de las prácticas extracurriculares en DSM *Coatings Resins*.

Adquirir práctica a la hora de resolver problemas usuales en una planta química y experiencia en la metodología de mejora continua *Lean-Six Sigma*.

Poder experimentar de primera mano el funcionamiento de una planta de producción a gran escala de un producto químico, y la tarea de un ingeniero de producción, de calidad y de planificación, así como la de operario de producción.

2.3. Estrategia del proyecto

El proyecto, como se ha comentado previamente, se centrará en la optimización de los tiempos de filtrado y envasado de la planta Parets del Vallés.

Lean Six-Sigma es una metodología que necesita centrarse en procesos muy específicos. Es por eso que se ha decidido focalizar en un proyecto concreto: el sistema de filtración por los equipos Futurix.

En el 2013 la empresa *DSM Coating Resins* aprobó el proyecto Futurix en la fábrica situada en Parets del Vallés. Este proyecto tenía como objetivo la implementación de una serie de unidades que mejorarían el proceso de fabricación y aumentarían la producción para corresponder a la demanda del cliente. Una de estas unidades fue un nuevo sistema de filtrado por mallas.

Una vez instaurado el nuevo sistema de filtrado, se estudió cómo implementarlo al sistema de filtrado y envasado, pero la falta de recursos hizo que no hubiese un seguimiento de esta implementación. Como no la hubo, es un equipo nuevo y casi sin usar, puesto que no se ha normalizado su funcionamiento entre los trabajadores que usan los equipos de filtrado y envasado a diario.

El filtro Futurix está formado por dos equipos con capacidad de filtrar de forma continua mediante 6 mallas cada uno, los cuales, están unidos mediante una línea de válvulas pensadas para funcionar en serie. La resina, pasa por el equipo 1, sale filtrada y entra en el equipo 2 para filtrarse otra vez. Cuando sale del segundo equipo pasa por la bomba que la impulsa hacia un tanque o hacia la envasadora, donde se envasará en IBCs o bidones.

En el 2013, con las pocas pruebas que se generaron ya se pudo comprobar que para las resinas que la empresa dispone, el funcionamiento en serie no aportaba buenos resultados. Es por esa razón que se dejó de usar de esta manera y se empezó a pasar el producto mediante by-pass. Esto significa que el producto ahora, en vez de pasar por los dos equipos Futurix, primero pasa por un carro de prefiltrado con una malla de un micraje grande para eliminar sedimentos y luego pasa por uno de los equipos Futurix, el 1 o el 2. La instalación permite conectar una manguera a la salida y/o entrada de cada equipo, por lo que cuando sale del equipo usado se conduce mediante manguera a la bomba y se impulsa al tanque o a la envasadora. Cuando las mallas del equipo usado se saturan se cierran las válvulas de entrada y salida y se cambian las mangueras para usar el otro equipo.

En la siguiente figura se muestra un esquema de la instalación donde se efectúa un by-pass. En la imagen la resina pasa por el equipo 1 a través de la línea y de las válvulas de

prefiltrado, la 1 y la 2. Las válvulas 3 y 4 permanecen cerradas y la 5 abierta. El producto pasa por ésta última donde se asegura una manguera y sale de la instalación impulsada por la bomba donde lo envía a un tanque o a la envasadora.

En caso de utilizar el equipo 2 en vez del 1, la conexión de la manguera se realiza de válvula de prefiltrado a válvula 5 donde el producto entra en la instalación, las válvulas 1 y 2 permanecen cerradas mientras que la 3 y 4 abiertas y de ésta última se conecta una manguera a la bomba, impulsando el producto a su destino.

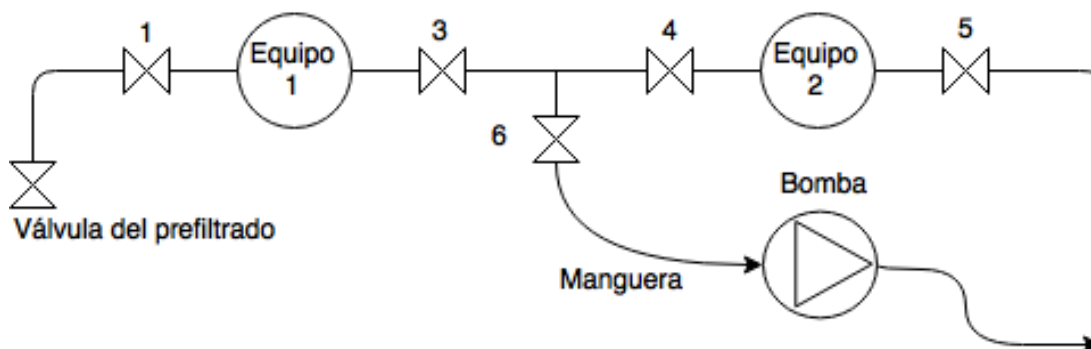


Ilustración 2.1. Esquema de los equipos que componen la instalación Futurix.

El proyecto se ha centrado en este sistema de filtrado porque muestra un gran margen de mejora en lo que se refiere tanto al montaje del equipo, del que se hablará más adelante, como de las grandes desviaciones que muestra, ya que hay resinas que pueden presentar tiempos bajos mientras que otras presentan tiempos altos.

Identificada ya la estrategia del proyecto, se forma el equipo de mejora liderado por un *Black Belt* y apadrinado por un *Champion*, cuyos papeles se definirán más adelante.

2.4. Requerimientos previos

El sistema de filtrado y envasado son dos etapas pertenecientes al final del proceso de fabricación de la resina. Este es previo al almacenaje y van ligadas ya que inmediatamente después del filtrado se envasa en contenedores IBC o es conducido a un tanque de estocaje.

Existen diversas vías de filtrado dependiendo de la calidad de la resina, el micraje, la luz de la malla y los cartuchos que se necesite, la viscosidad y si gelifica o no. Estos son: por filtros de cartucho o malla o por filtro con tierras diatomeas.

Como se ha dicho antes, dependiendo de las características de la resina se usará uno u otro sistema. Sin embargo, no existe un método universal para cada resina, sino que la

elección es fruto de la experiencia del técnico de turno i de los operarios. Por ejemplo, si es una resina que gelifica, si se filtrase por cartuchos podría tardar hasta un día entero a filtrar, en cambio será más rápido si se filtra por el que usa tierras diatomeas, aunque para hacer el posterior lavado se necesita mucho tiempo y se generan tierras diatomeas que suponen un coste de gestión de residuos alto.

Hace falta decir que en el caso de este proyecto, las resinas estudiadas solo se filtran y envasan por los siguientes equipos: envasadora, carros móviles, instalación Futurix.

La envasadora es bastante antigua y estándar y es capaz de envasar IBCs o bidones. Los carros móviles son unas pequeñas instalaciones donde se usa una única malla y que al tener ruedas se pueden transportar por toda la planta. La instalación Futurix ya se ha explicado anteriormente.

Después de cualquier filtrado, se envía el producto por manguera a un tanque de estocaje para cargar en camiones o a un sistema de envasado en IBC o bidones, que los operarios transportan al almacén de producto acabado.

Otro tema que es importante destacar, es que en la empresa *DSM Coating Resins* ha habido un aumento de la concienciación *Lean* y cada vez más se intenta implementar la metodología a todos los departamentos de la fábrica como método de mejora continua. Es por eso que se trabaja en mantener un orden en los espacios de trabajo y en hacer más productivos los sistemas que se disponen.

3. Introducción

3.1. Objetivos del proyecto

- Estandarizar el proceso de filtrado y envasado de la instalación Futurix.
- Disminuir los tiempos de filtrado y envasado de la instalación Futurix.
- Disminuir la variabilidad del tiempo de filtrado y envasado de la instalación Futurix.
- Disminuir la consumición de material de filtrado de las resinas estudiadas.
- Crear un sistema de monitorización fiable para controlar el proceso.

3.2. Alcance del proyecto

Solo se estudiará la etapa de filtrado y envasado, perteneciente a las dos últimas etapas de fabricación.

Las resinas que se tratarán serán en principio 6 de las cuales ocupan el 40% de la producción. Dos de estas resinas se conducen a tanque, tres al sistema de envasado de IBC y dos se envasan y filtran por igual.

Dado el hecho que la fábrica tiene un amplio portfolio, el 40% significa una gran parte de la fabricación que permite un gran margen de desarrollo, haciendo posible que cualquier mejora se refleje en el proceso.

Por último, destacar que el proyecto finalizará en la última etapa del procedimiento *Six Sigma*: Controlar. Esto significa que el autor del proyecto no realizará el seguimiento de la instauración de la metodología o el sistema de monitorización. Típicamente se forma un equipo para controlar durante tres meses aproximadamente si la instauración de la mejora se lleva a cabo correctamente o si hay que hacer modificaciones una vez puesto en marcha. Este proyecto solo planificará el seguimiento de la implantación.

4. Fundamentos teóricos. Introducción a *Lean Six-Sigma*

4.1. Historia de *Lean y Six Sigma*

Six Sigma es una metodología nacida en los años ochenta fruto de los diferentes programas de mejora encaminados a corregir deficiencias de los procesos, mejorar la adaptación a las demandas de los clientes que cambian continuamente, reducir costes e incorporar nuevos conocimientos.

El año 1984, Motorola experimentaba una fuerte competencia en el sector de la electrónica por parte de las empresas japonesas. Frente este hecho se puso en marcha un programa de mejora donde los diferentes departamentos solventaban problemas concretos intentando reducir la variabilidad. Gracias a su éxito, logró extenderse debido al uso de otras empresas como General Electric, Honeywell y Ford.

Six sigma, se caracteriza por centrarse en calidad, resolviendo problemas relacionados con la metodología del proceso e intentando eliminar al máximo la variación en los procesos rediseñando e innovando. Se diferencia de otras metodologías de mejora como la reingeniería, porque es continua, pero se diferencia del A3 y el Kaizen porque es puntual y específica.

Lean por su parte nació en el sector del automóvil específicamente en la empresa Toyota entre los años 1950 y 1980, debido a los problemas de calidad que mostraba la producción en serie. Además, la situación de Japón tras la guerra provoca una falta de materias primas para la producción a gran escala, que obliga a los directivos a enfocar su producción a la utilización ajustada de los recursos para cubrir la demanda real en cada momento. Para ello, integran a los trabajadores en equipos responsables de la productividad y la calidad de sus operaciones debido que que la metodología Lean considera que tienen capacidades y conocimientos que pueden ser aprovechados para una eficiente implementación y mejora continua del sistema de producción.

Concretizando, *Lean* se centra en agilizar procesos eliminando desperdicios y haciéndolos más flexibles y fluidos mediante el trabajo en equipo.

No fue hasta el 2000 que se integraron los dos programas fusionando la parte estadística y robusta de *Six Sigma* con la parte social y fluida de *Lean*. Como resultado de esta confluencia, junto con una buena implementación, se logra conseguir reducción de costes,

reducción en tiempos de entrega, mayor rapidez de producción, mejor calidad de los productos y se consigue aumentar la satisfacción de los empleados integrándolos en la empresa.

4.2. Estructura de responsabilidades

Los proyectos *Lean Six Sigma* suelen empezar con un *Champion* identificando un problema que permita obtener soluciones con un buen margen de beneficio para la empresa.

El siguiente paso antes de especificar el problema y estudiarlo a fondo es la de crear el equipo que se encargará de abordarlo. Las responsabilidades de cada trabajador tienen que ser muy claras a la hora de planificar pruebas tanto como de implementar soluciones, puesto que la falta de comunicación y coordinación entre personas y departamentos tendrá un papel decisivo en la transmisión de información.

Es por eso que aparte de especificar quién forma parte del equipo de mejora y qué papel debe cumplir, es importante asignar los siguientes roles:

- *Champion*: El padrino del proyecto. Pertenece al equipo directivo y se encarga de velar por el buen funcionamiento y el desarrollo del proyecto. Se preocupará de que el equipo disponga de los recursos necesarios y de que éste trabaja en las condiciones adecuadas. Hará un seguimiento desde fuera, sin tomar decisiones pero dando su aprobación cuando se requiera.
- Coordinador del Programa: *Master Black Belt*. Es el rol encargado de facilitar las tareas. Hace un seguimiento más exhaustivo que el *Champion* y coordina el sistema aparte de ayudar a seleccionar qué ideas y soluciones son las que mejor se adaptan y cumplen los requisitos del proyecto. Tampoco pertenece al equipo, pero lo apoya desde fuera involucrándose más que el *Champion*.

Los integrantes de los equipos de mejora suelen ser interdisciplinarios y pequeños, para alcanzar una buena coordinación entre persona, pero con la riqueza de tener diferentes puntos de vista del proceso. Los papeles que forman el equipo son:

- *Black Belt*: El encargado de liderar el proyecto y los equipos. Coordina la recogida de información y realiza los estudios estadísticos pertinentes, toma decisiones, planifica las pruebas necesarias, selecciona las mejoras y decide su implementación.
- Equipo de mejora: *Green belts* y expertos. Están coordinados por el *Black Belt* y proporcionan la visión profesional que tienen sobre el proceso además de ayudar

en la toma de decisiones y en la implementación de mejoras. Como expertos, dan soporte a la hora de gestionar información y discernir qué da valor¹ y que no.

4.3 Etapas y pasos en *Lean Six Sigma*

La metodología *Lean Six Sigma* se caracteriza también por dividirse en diferentes etapas las cuales se va cumpliendo a medida que se va desarrollando el proyecto. Esto implica una planificación forzosa por parte del equipo de mejora e implica que el proyecto se lleve a cabo de una manera muy metódica.

Es obligatorio pasar por todas las etapas del conjunto puesto que cada una cumple con una misión específica. Esta metodología se llama DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) y viene explicada etapa por etapa en los siguientes apartados:

Etapas a seguir

Aspecto central de la metodología Seis Sigma

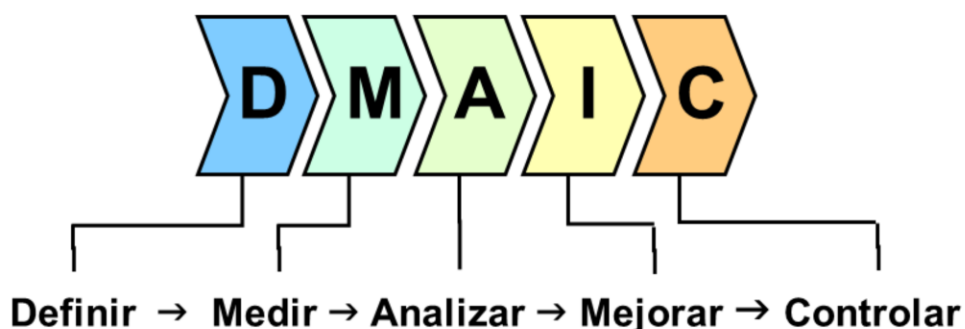


Ilustración 4.1. Esquema de las etapas que se desarrollan en los proyectos Lean Six Sigma.

4.2.1. Definir

El objetivo de esta etapa es centrar y formalizar el proyecto. Por eso, se forma el equipo de trabajo y se especifica las responsabilidades de cada integrante. Además, hay que clarificar los objetivos, hablar con los clientes y averiguar qué es para ellos valor y cuáles son sus

¹ En el marco de *Lean*, valor es un producto específico (un bien o un servicio, y a menudo ambos a la vez) que satisface las necesidades del consumidor a un precio concreto, en un momento determinado.

necesidades. También se asignan los indicadores clave y sus métricas para el estudio de mejora.

A causa de su objetivo normalizador, está integrado por diferentes documentos y pasos:

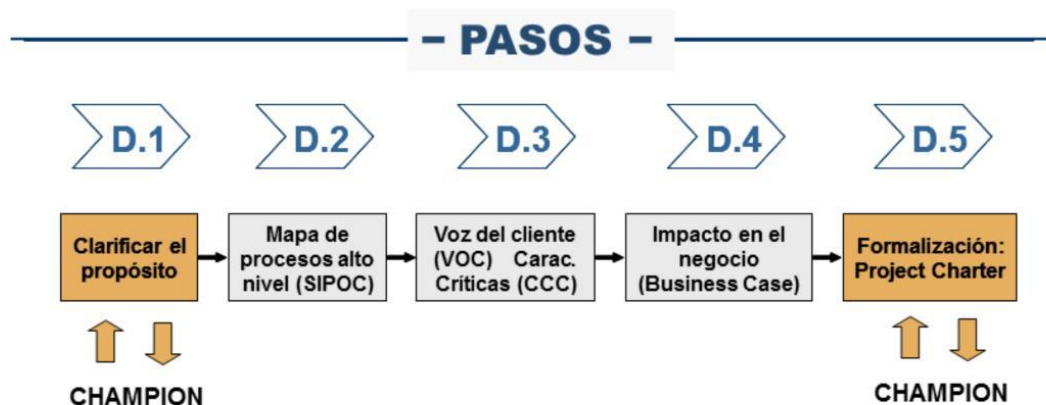


Ilustración 4.2. Esquema de los pasos a seguir en la etapa Definir.

4.3.1.1 Project Charter

El *Project Charter* es un documento cuyo objetivo es formalizar la puesta en marcha del proyecto. En él se clarifica el propósito especificando la fecha de inicio y la de final, el título, el *Black Belt*, el *Champion* y el equipo que lo lleva a cabo. Se describe el problema, los objetivos y en estos se especifica la métrica, el valor de partida y al que se quiere llegar. También incluye los resultados económicos y los beneficios para los clientes esperados; los recursos que se dispone y las restricciones, una pequeña planificación de las etapas del proyecto y por último la firma del *Champion*.

El *Project Charter* es un documento que se revisa durante todo el desarrollo del proyecto, ya que es una guía de cómo llegar del estado inicial al que queremos o final. Aun así, eso no significa que sea un documento inamovible, ya que durante el desarrollo del proyecto pueden salir ciertas dificultades o giros inesperados que hagan modificar el camino especificado por el *Project charter* para adaptarse a ellas. Como todo desarrollo flexible, se esperan ciertos cambios sin cambiar la esencia inicial, es por eso que este documento puede experimentar cambios siempre y cuando el *Champion* lo abale.

4.3.1.2 Mapa del proceso a alto nivel SIPOC

El SIPOC (*Suppliers, Inputs, Process, Output, Client*) tiene como objetivo acotar el alcance del proyecto e identificar los proveedores, clientes, entradas y salidas. Es una de las fases más complicadas de ejecutar, ayuda a conocer las partes implicadas en el proceso que se

estudia y a generar un primer diagrama de flujo.



Suppliers
(proveedores):

Personas u
Organizaciones

Proporcionan
material,
Información,
otros recursos

Inputs:

Información,
Materiales,
....

Suministrado
por *Suppliers*

Proceso:

Serie de
actividades
que transforman
los inputs

Output:

Producto o
servicio
usado por
el cliente

Cliente:

Personas,
organizaciones
u otro proceso
que recibe
el output

Ilustración 4.3. Esquema del desarrollo de un SIPOC.

4.3.1.3 Voz del Cliente (VOC) y Características Críticas del Cliente (CCC)

La voz del cliente (VOC), determina las características críticas del cliente (CCC), o sea, lo que los clientes esperan del producto que se les proporciona y lo que ellos valoran. Para ello, es importante mantener contacto con los clientes tanto internos como externos realizando entrevistas o formularios. Es muy importante escuchar y comprender al cliente, puesto que las CCC marcaran durante todo el proyecto qué mejoras se implementaran y cuáles no.

4.3.1.4 Business Case

El *Business Case* es un estudio previo y simple de los posibles ahorros que podrían alcanzarse si se implementara de manera adecuada el proyecto de mejora continua. Éste tiene que ser avalado por el departamento financiero de la empresa y comparado con los beneficios obtenidos al final de la instauración del proyecto en la etapa Controlar.

4.2.2. Medir

La segunda etapa del proyecto es la correspondiente a investigar qué parámetros de entrada en el proceso influyen en los parámetros de salida, de tal manera que se pueda adquirir una visión global de cómo funciona el proceso. Es una etapa larga debido a que se necesita una gran colección de datos válidos y una búsqueda de las posibles relaciones entre ellos.

A las entradas del proceso se les llama métricas X's. En cambio a las métricas definidas por las CCC en la etapa Definir se les llama Y's. Las relaciones que se quieren encontrar antes comentadas son las que conciernen a estas dos métricas y para conocerlas se empieza planteando un diagrama de flujo más expansivo que el que se utilizó en el SIPOC y una serie de preguntas sobre el funcionamiento del proceso que ayuden a entender dónde está el problema, cuáles son las posibles causas y dónde se producen desperdicios. Estas preguntas se resuelven gracias a la base de datos validado y gracias a su resolución se puede tener una cuantificación de la situación de partida con las X's e Y's definidas.

Es muy importante destacar la importancia de disponer de una base de datos fiable. Las bases de datos a veces son incompletas o los datos suelen estar maquillados distorsionando así la información. Es usual planificar una nueva recogida de datos si éstos son insuficientes o replantear la manera de recoger información para que el factor humano no desfigure dicha información. Es muy importante que todo el mundo esté de acuerdo que la base sea fiable para que se puedan aceptar los resultados de las preguntas.

Las respuestas son tentativas y se confirman rigurosamente en la siguiente etapa Analizar.

El esquema que se sigue es el siguiente:

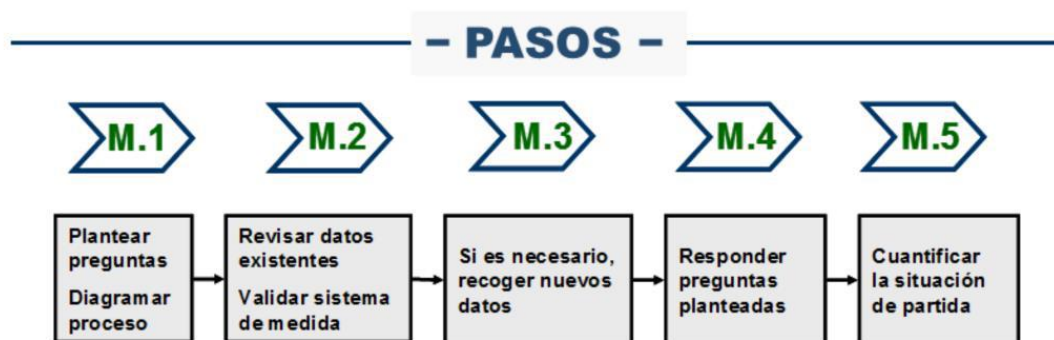


Ilustración 4.4. Esquema de los pasos a seguir en la etapa Medir.

4.2.3. Analizar

Una vez finalizada la etapa Medir se suele modificar el *Project charter* ya que la relación entre los parámetros es más claro al conocer las posibles relaciones entre X's e Y's. Como se ha dicho anteriormente, estas relaciones son tentativas y se confirman en la etapa Analizar mediante estudios estadísticos rigurosos.

El método es plantear hipótesis y estudiar los datos obtenidos en Medir o realizar pruebas y experimentos. A raíz de los resultados se desecharán o se confirmarán.

Las herramientas que se suelen utilizar son las de *Braingstorming*, diagrama causa-efecto, diagrama de flujo, diagrama bivariantes, Análisis de Modo de Fallos y sus Efectos (AMFE), análisis exploratorio de datos, comparación de medias con ANOVA o simulación de procesos. De esta manera deben quedar claras las relaciones de las X's y las Y's.

A raíz de ver los problemas que se generan en el proceso, se empieza a vislumbrar posibles soluciones.

El esquema que se sigue es el siguiente:

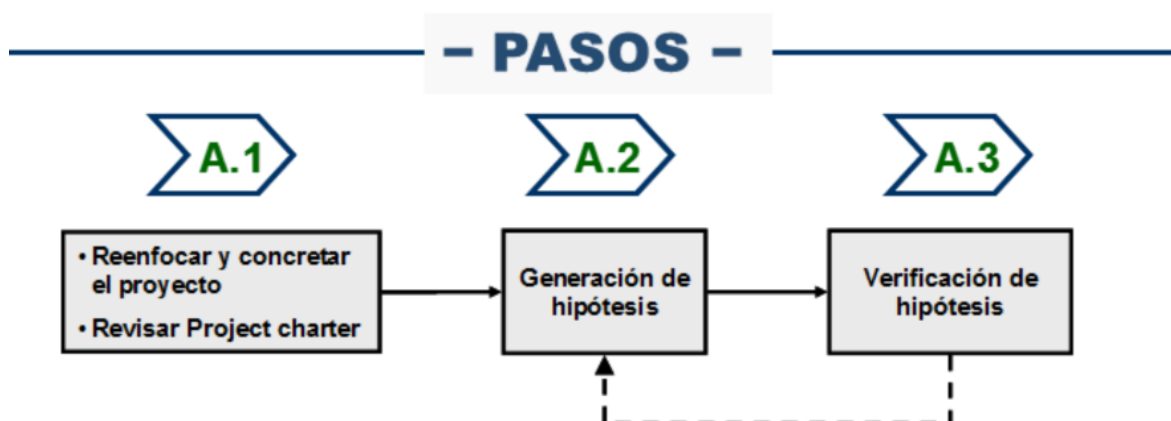


Ilustración 4.5. Esquema de los pasos de la etapa Analizar.

4.2.4. Mejorar

La etapa Mejorar se encarga de instaurar las mejoras que solucionarán los problemas del proceso empezando con la realización de una lista de posibles mejoras y seguido de la realización de pruebas piloto, evaluación e implementar si se llega a la conclusión que son viables.

El listado de posibles mejoras es un trabajo creativo donde se tiene que tener en cuenta las innovaciones tecnológicas y el análisis anterior del proceso. Éstas se deben priorizar mediante matriz de priorización o semejante para poder planificar las diferentes pruebas piloto y más adelante realizar los cambios y asignar a sus respectivos responsables junto con la documentación del proceso.

En esta etapa el papel del *Champion* es muy importante porque autoriza y aporta recursos al desarrollo de las diferentes pruebas. También es importante que participe en la selección de mejoras porque él es el mayor responsable de que el proceso funcione como se espera

en un futuro.

Es posible que algunas mejoras queden pendientes de implementar debido a la falta de inversión o por planificación a largo plazo. En este caso debe quedar muy claro qué recursos se le asignará, qué fechas se hará la implementación y se hará el seguimiento, y qué responsables se encargarán que ésta se haga debidamente.

El esquema que se sigue en esta etapa es el siguiente:

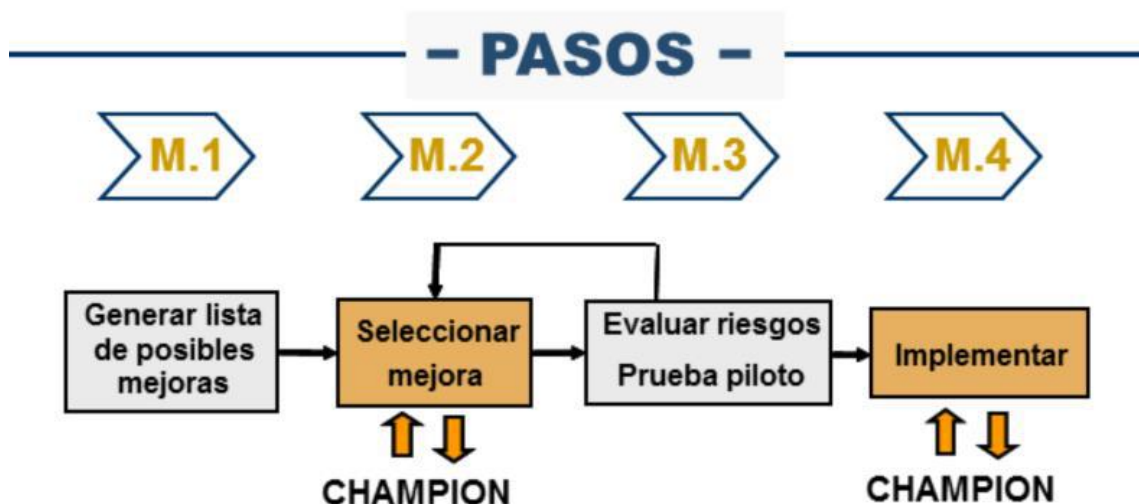


Ilustración 4.6. Esquema de los pasos de la etapa Mejorar.

4.2.5. Controlar

La última etapa del proyecto es la de Controlar y se encarga de asegurar que las mejoras se consolidan y que no son temporales ni reversibles. Para ello, se estandariza el proceso, se escriben procedimientos, se establecen indicadores y se realiza un seguimiento durante 90 días.

Otro punto importante en esta etapa es la valoración comparando el antes con el después de los términos financieros y no financieros, este último afín con la relación entre X's e Y's. Es importante cerrar el proyecto aunque queden pequeñas tareas pendientes ya que se asigna una fecha de inicio y una de finalización. A estas tareas pendientes se les debe asignar un responsable para que se lleven a cabo y un supervisor para controlar la planificación.

El hecho de establecer indicadores y un sistema de monitorización ayuda a que las soluciones se instauren y no se vuelva a la situación anterior. Este sistema de monitorización puede variar siendo o una plantilla donde se apunten valores que se

comparan con los indicadores, o un sistema informático más complejo que controle el proceso. Lo importante es obtener la información adecuada que muestre cómo se está llevando a cabo la implementación.

Finalmente, se genera un documento para revelar toda la información obtenida y analizada durante el proyecto para que en un futuro se pueda utilizar en caso de necesidad de aplicar nuevas mejoras en ese proceso, semejante o relacionado con él. Además, se suele aportar un apartado de “lecciones aprendidas” donde se exponen reflexiones y experiencias fruto del desarrollo del proyecto.

El esquema que se sigue en esta etapa es:

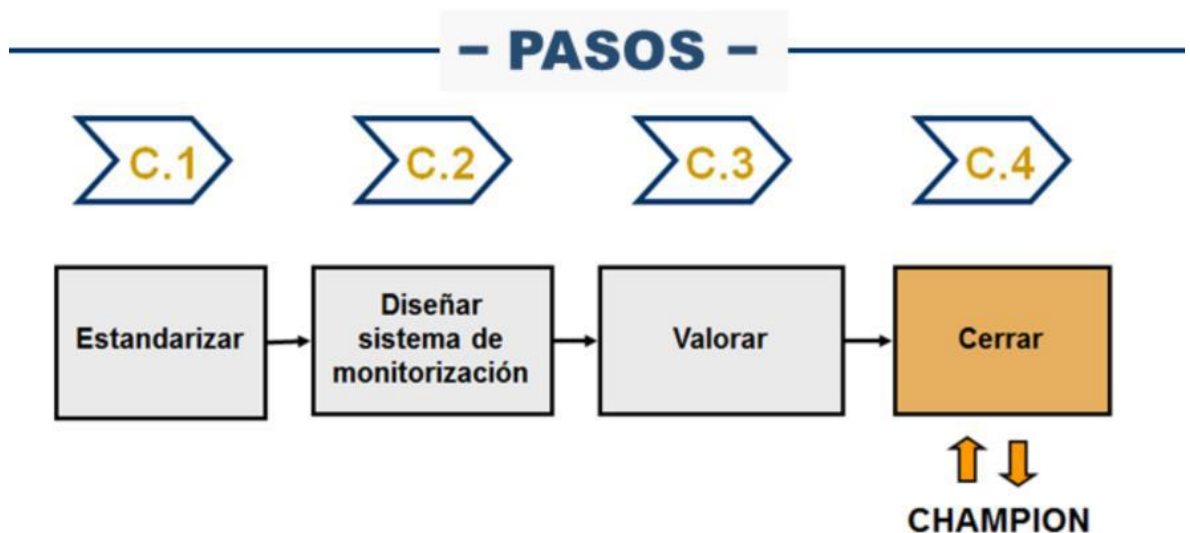


Ilustración 4.7. Esquema de los pasos de la etapa Controlar.

5. Definir

La primera etapa Definir está caracterizada por un seguido de actividades que permiten obtener una primera idea de cómo es el proceso. Es por eso que existen en esta etapa documentos y actividades diferentes centradas en los clientes, el punto de vista del negocio y los balances económicos.

Se recuerda el esquema que se seguirá a lo largo de esta etapa:

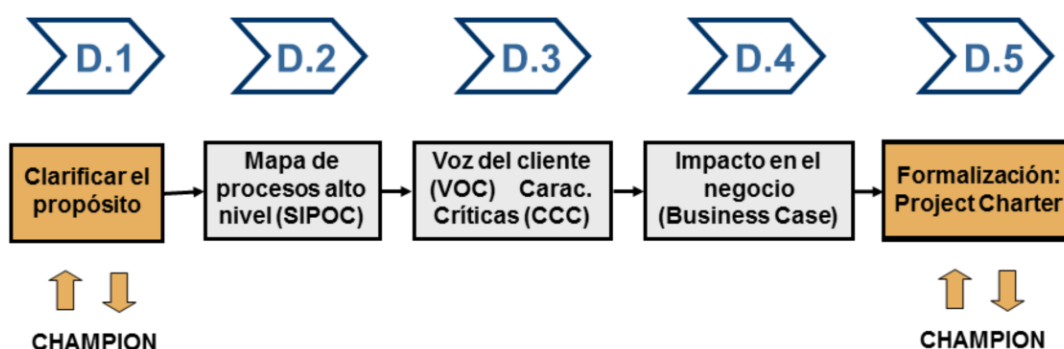


Ilustración 5.1. Esquema de los pasos que se seguirán a lo largo de la etapa Definir.

5.1. Project Charter

El primer paso a la hora de definir un proyecto de mejora *Six Sigma* es la de establecer el equipo que lo llevará a cabo, junto el *sponsor* que hará el seguimiento y el líder que coordinará el equipo. En el caso de este proyecto, el *Black Belt* es el autor de este trabajo y el *Champion* es el tutor. El coordinador de envasado forma parte también del equipo dando apoyo a las diferentes actividades y aportando ideas y posibles soluciones.

La descripción del problema para especificar claramente los objetivos es uno de los pasos más importantes. Estos objetivos deben ser pocos para focalizar con éxito y además deben ser cuantificables para poder medir y valorar si se cumplen.

Los resultados económicos que obtendrá la empresa y los beneficios que experimentarán los clientes se especifican también junto con los recursos que se disponen y las restricciones que presenta el proyecto.

Todos los puntos anteriores se reflejan en el *Project Charter* que se va desarrollando a medida que se cumplen las diferentes etapas de Definir.

5.2. SIPOC

La visión que se obtiene a alto nivel del proceso permite obtener un sencillo diagrama de flujo de diversas etapas diferentes en el proceso: Comprobaciones previas (equipos en buen estado y limpios, hoja de filtrado válida, nivel del tanque adecuado o envases disponibles), montaje de la instalación y realización del *checklist*², comienzo del filtrado y toma de muestras del lote, cambio de consumibles una vez saturados, barrido y limpieza y por último, desmontaje de la instalación y *checklist* final.

A la hora de identificar proveedores, entradas, salidas y clientes, se ha contemplado tanto los internos, propios de la empresa, como externos.

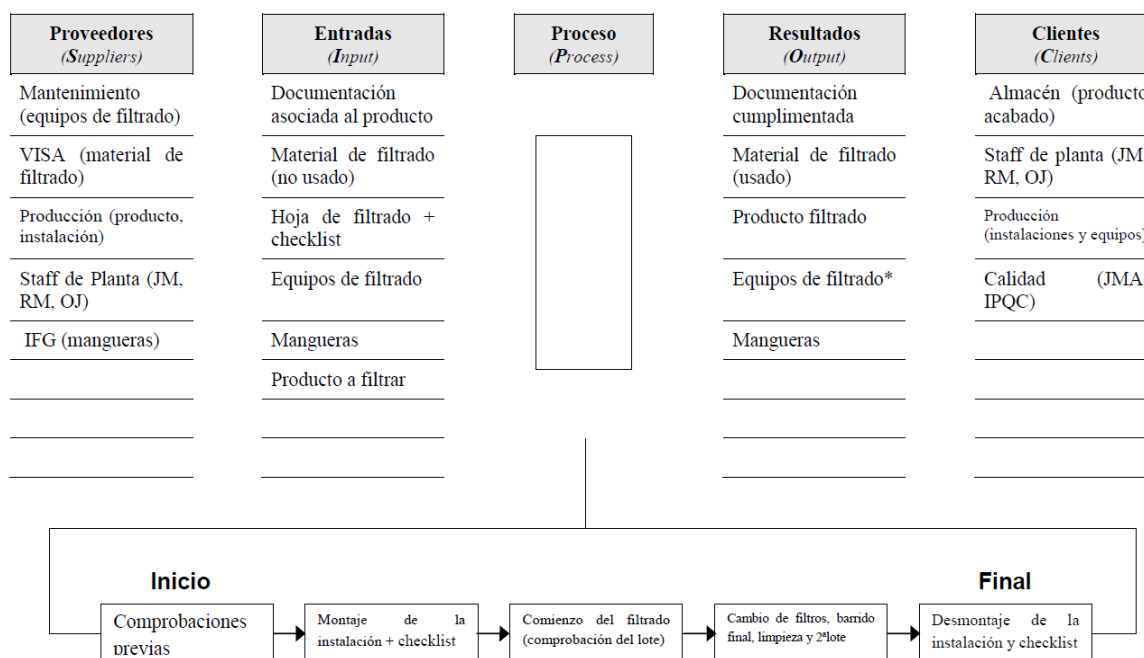
Los proveedores internos lo forman el *staff* de producción (ingenieros de producción, compras de materias primas, calidad...) y los operarios de planta, ya que aportan *inputs* como la documentación del producto, la resina a filtrar y los equipos de filtrado; y los proveedores externos, son los que aportan el material de filtrado.

Las entradas y las salidas corresponden tanto documentos asociados al producto y al proceso de filtrado como equipos, consumibles y material usados en el proceso.

Los clientes y los proveedores pueden coincidir, como en este caso que se entrega la resina filtrada y envasada al *staff* de producción para que puedan hacer el control de calidad. Además se suma Almacén, que se encarga de almacenarla y distribuirla.

Lo importante de esta fase es establecer quiénes son los clientes. En este caso se definen como tal los departamentos de almacén, producción y calidad.

² El *Checklist* es un documento donde se pregunta si se ha realizado correctamente los pasos para que la actividad que se realice se haga de forma segura y eficiente. Debe ser cumplimentado por el envasador y revisado por otro trabajador.



* Los equipos de filtrado los considero outputs porque una vez pasado el proceso, quedarán libres para usarlos otra vez.

Ilustración 5.2. SIPOC del proyecto, donde en la parte superior se especifican tanto los proveedores como los clientes y sus entradas y salidas, y en la parte inferior de forma esquemática se presenta un primer diagrama de flujo.

5.3. Voz del Cliente (VOC)

Una vez identificados los clientes es muy importante preguntarles directamente cuáles son sus expectativas respecto el producto que les proporcionamos, ya que uno de los errores más frecuentes es suponer necesidades que los clientes no contemplan y no les dan valor.

El por qué se ejecuta el proyecto también forma parte de la voz del cliente, puesto que la dirección de la empresa también ejerce de cliente: El gerente de la fábrica pide al departamento de producción que correspondan a la demanda creciente anual aumentando así la eficiencia de la planta. El margen de mejora observado por el *Production manager* radica en la logística de filtrado y envasado. Por esa razón se pide a un *Black Belt* que lleve a cabo un proyecto de mejora focalizado en esta operativa.

A parte de la dirección, como se ha visto en el SIPOC, existen otros clientes internos. Para poder especificar qué es valioso para ellos se ha hablado con trabajadores de los departamentos implicados:

Planificadora de planta

Refiriéndose a los altos tiempos y variabilidad del sistema de filtrado:

“No nos vemos afectados por el hecho de que se retrase la filtración, ya que el planning se genera a través de SAP³, y éste contempla un margen de seguridad de 2 días. Si se retrasase esta fase 2 días sí que nos veríamos afectados, pero sería un caso muy puntual.”

Refiriéndose a las pruebas piloto que se suelen realizar en planta:

“La comunicación con el departamento de ingeniería que hace pruebas de filtrado está bien, ya que éstas se adaptan al planning de fabricación. Si fuese al revés sí que sería un problema ya que no nos adaptaríamos a las exigencias del cliente”

La encargada de planificación puntualiza la preferencia del cliente que compra la resina en frente de las necesidades internas: si se necesita filtrar una cierta resina para hacer pruebas y ésta no se ha incluido en el *planning* por falta de demanda del mercado, el departamento que genera las pruebas deberá esperar a que algún cliente la solicite. Otro hecho a destacar es que al no verse afectado el *planning*, que es una de las actividades más importantes del negocio, tanto el filtrado como el envasado no son actividades críticas, por lo tanto, no se ha instalado ni implementado un sistema de gestión para controlar la actividad.

Administrativo de almacén

“Si planta introduce al tanque de estocaje la resina sin filtrar previamente, que suele pasar por falta de tiempo y recursos, almacén se encarga de filtrarla antes de introducirla al camión del cliente. Esto significa que se necesita el doble de tiempo para cargar el camión.

DSM puede llegar a cargar hasta 2 horas gratis; si se sobrepasa este tiempo tenemos que pagar al cliente por horas extras, y siempre que se tiene que filtrar se sobrepasa estas 2 horas.”

La administradora de almacén recalca el hecho de la falta de recursos de planta para poder filtrar todas las resinas que se fabrican. Esto impacta directamente al departamento de almacén generando un retraso en la carga de camiones y un coste extra.

Ingeniero de

“Cuando se instaure el nuevo sistema de filtrado Futurix, se mejorará la

³ *Systems, Applications, Products in Data Processing* (SAP) es un *software* de control de recursos útil para la toma de decisiones y aporte de información.

planta *planificación inmediata de Planta”*
“Tenemos un problema con las envasadoras, y es que son viejas y se estropean con frecuencia”
“Hace falta estandarizar el proceso de filtrado”

El ingeniero de planta se refiere a la planificación en directo de planta y a la toma de decisiones inmediatas por parte del técnico de turno cuando se encuentra ante un desfase de tiempo o dificultad. Vaticina un aumento de la flexibilidad ante los conflictos que se pueden encontrar a la hora de fabricar las resinas.

Administrativo *“No encaja el stock de cartuchos y mallas de SAP con los reales”*
 de Planta *“No sabemos cuál es la causa, pero los envasadores tienen que rellenar un checklist donde se les pregunta la cantidad de cartuchos o mallas usados y debe ser que no lo rellenan bien, porque a final de mes nos damos cuenta que se han gastado muchos más de los que tenemos registrados, incluso a veces se ha sobrepasado el stock de seguridad y nos hemos quedado sin existencias.”*

El administrativo experto en SAP comentó posteriormente que podía ser debido a diferentes causas: por un mal uso del material y miedo a comentarlo; por falta de memoria o por no contabilizar bien las unidades usadas; debido a un cambio de turno de operarios junto con una mala comunicación entre los operarios que son relevados y los que relevan; o por último, porque han reutilizado cartuchos para otra filtración y no lo han comentado al departamento encargado de registrar las existencias.

Ingeniero *Comparando las resinas filtradas sin Futurix con las que se están filtrando en*
 de *Futurix (pruebas piloto):*
 calidad *“Desde el punto de vista de calidad, no me he dado cuenta del cambio, y eso es bueno”*
“Lo importante para mí es el micraje final, que está fijado, y en todas las pruebas se mantiene OK.”
 Refiriéndose al sistema de producción:
“Como se ha trabajado mucho el planning y el hecho de reducir al máximo los tiempos muertos y de lavado, que es lo que no nos aporta dinero del cliente final, se ha dejado de lado el tema del envasado y el filtrado, que es lo que nos interesa solo a nosotros y no nos aporta dinero directamente.”

El encargado de calidad abarcó dos temas: la calidad de las resinas, un hecho muy importante es que no tiene quejas, y el funcionamiento de la fábrica en general, donde

explicó una posible causa de el por qué no existe una estandarización en el sistema de envasado y filtrado.

Técnico de Turno *“Según el criterio del envasador los tiempos de filtrado pueden variar ya que cada uno tiene su táctica o criterios. Por ejemplo, un envasador puede tener una resina filtrando y hacer el cambio de malla o cartucho cuando la caída de presión es de 1,5 bares. En cambio otro hace el cambio a los 3 bares.”*

“¿Cómo puede ser que una misma resina dependiendo del turno que trabaja se filtre en 3 horas o en 7?”

“No gusta filtrar por Futurix ya que tardan 30 minutos para cambiar las mallas y porque se tarda en hacer el by-pass con las mangueras.”

El técnico de turno puntualiza la falta de estandarización del proceso, con el que lo relaciona con la gran variabilidad de los tiempos de filtrado y envasado.

Además, también comenta que la nueva instalación Futurix no ha sido bien acogida por causas prácticas, aunque es sabido que los tiempos de filtrado son mucho más bajos que con el resto de sistemas de filtrado.

Una fácil visualización de todas las ideas obtenidas se reflejan en el diagrama de árbol.

¿Qué es lo que el cliente quiere?

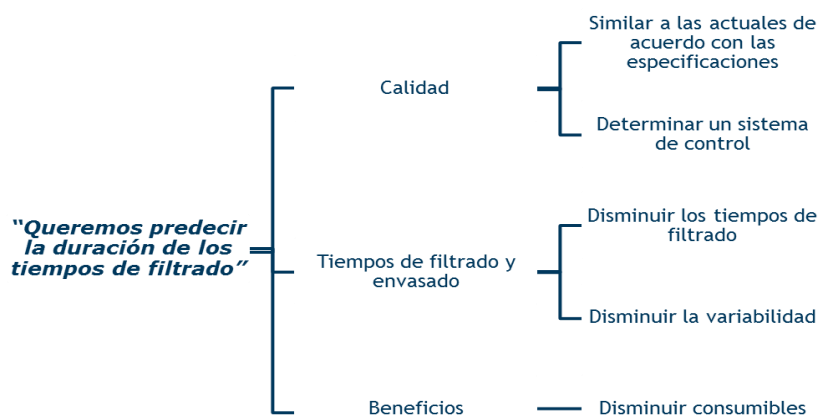


Ilustración 5.3. Esquema de las características que aportan valor al cliente.

Todo esto se resume en la siguiente frase: **Estandarizar el proceso de filtración y envasado.**

5.4. Características Críticas del cliente (CCC)

Una vez identificadas las necesidades del cliente se definen los objetivos con sus respectivas métricas. Estas son:

- Reducción del tiempo total de filtrado y envasado en un 30%. [min/T]
- Reducción de la variabilidad en un 20%. [min/T]
- Reducción del consumo de cartuchos en un 40 %. [Uds.]

Otra métrica que también se utilizará será la de los ahorros [€].

Con lo que respecta a los objetivos: determinar un sistema de control y seguir con los requerimientos de calidad; no se han tenido en cuenta ya que son objetivos no cuantificables. Otro motivo es porque en la última etapa llamada Controlar se establecerá un sistema de control, así pues este objetivo se cumplirá igualmente. Respecto a los requerimientos de calidad, después de cada filtrado se lleva una muestra al laboratorio de control para vigilar que cumpla las especificaciones permitiendo tener este factor indirectamente controlado.

La métrica usada para medir el tiempo de filtración se ha definido como tiempo entre sustancia filtrada para corregir las diferencias de cantidades entre lotes y poder hacer comparaciones más fiables, ya que a veces suelen filtrarse dos lotes a la vez, o a la hora de envasar se realizan más envases o menos.

5.5. Business Case

Para realizar el *business case* se ha tenido en cuenta tanto los ahorros económicos por la disminución de los cartuchos como las horas ahorradas de los trabajadores.

Por confidencialidad los gastos calculados que se muestran son aproximados.

5.5.1. Disminución en un 30% de los consumibles

Se tienen en cuenta los ahorros anuales tanto en tratamiento de residuos como en compra de consumibles.

Durante el año 2015 se ha gastado un total de 9.652 cartuchos y 3.572 mallas. Teniendo en cuenta que el precio de compra de los cartuchos oscila entre 6,15 € y 18,00 € y que el de las mallas oscila entre 4,05 € y 6,00 €, se ha gastado unos 60.000 €

cartuchos y unos 17.100 € en mallas.

Respecto a la gestión de los residuos generados por el material de filtrado, el coste del tratamiento de cartuchos y mallas respectivamente es de 0,46€/cartucho y 0,14€/malla. Calculando los costes se puede decir que se han gastado unos 4.440 € en cartuchos y unos 500 € en mallas.

Asimilando la reducción del 30% de consumibles de toda la fábrica, se obtendría unos 24.600 € de ahorros anuales.

5.5.2. Reducción del 30% del tiempo total de filtrado y envasado y reducción del 20% de la variabilidad

Teniendo en cuenta que se hacen más o menos 400 filtrados al año y que conocemos la media de tiempo que se tarda en filtrar una resina de cada tipo, se obtendría unas 750 horas de envasadores destinadas a otras tareas.

Hay que aclarar que la filosofía *Lean Six Sigma* es contraria a eliminar personal por los ahorros de tiempo alcanzados. No se eliminan horas, si no que se utilizan para aumentar los recursos de otras tareas como ordenar, dar soporte a otros departamentos, asistir a formaciones o asistir a eventos *Lean*.

Una vez se ha actualizado el documento *Project Charter* con la información obtenida a lo largo de la etapa Definir y se valida por el *Champion*, se finaliza esta etapa y se continua el proyecto.

6. Medir

El objetivo de la etapa Medir es entender con gran profundidad el funcionamiento del proceso y tener una visión global de las variables que influyen en su comportamiento.

El esquema que se seguirá es:

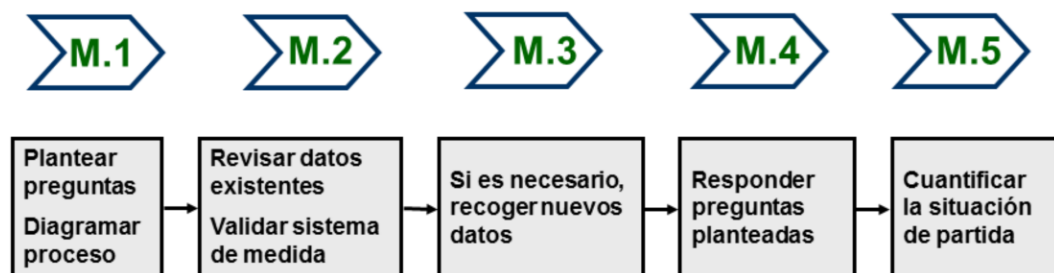


Ilustración 6.1. Esquema que se seguirá a lo largo de la etapa Medir.

El primer paso es la de visualizar como está funcionando el proceso actualmente y a raíz de esto, plantearse preguntas con respuestas que pueden ser claves para reconocer el origen de los problemas.

Según el apartado anterior Definir, nuestras CCC son el tiempo total de filtrado [min/T], la variabilidad de los tiempos de filtrado [min/T] y el consumo de consumibles [Uds.] A estas métricas les llamaremos Y's, ya que son los *outputs* del proceso que estudiaremos.

Definiremos las X's como las entradas del proceso que se pueden visualizar mediante un diagrama de flujo.

En el caso de este proyecto, las posibles X's son el tiempo de montaje de los equipos [min], el tiempo de filtrado [min/T], el tiempo de limpieza de los equipos [min], el tiempo entre el cambio de consumibles [min], el tiempo de duración de las demoras [min] de las que se hablará más adelante, el número de consumibles usados [Uds.], cantidad filtrada [T], tipo de consumibles [-], equipo usado [-], tanque origen y destino [-], hora de inicio y finalización [h,min], envasador que hace la acción [-], pH [-], viscosidad [μ m], fotometría [lm], sedimentos [μ g], sólidos [μ g].

El diagrama de flujo del proceso es el siguiente:

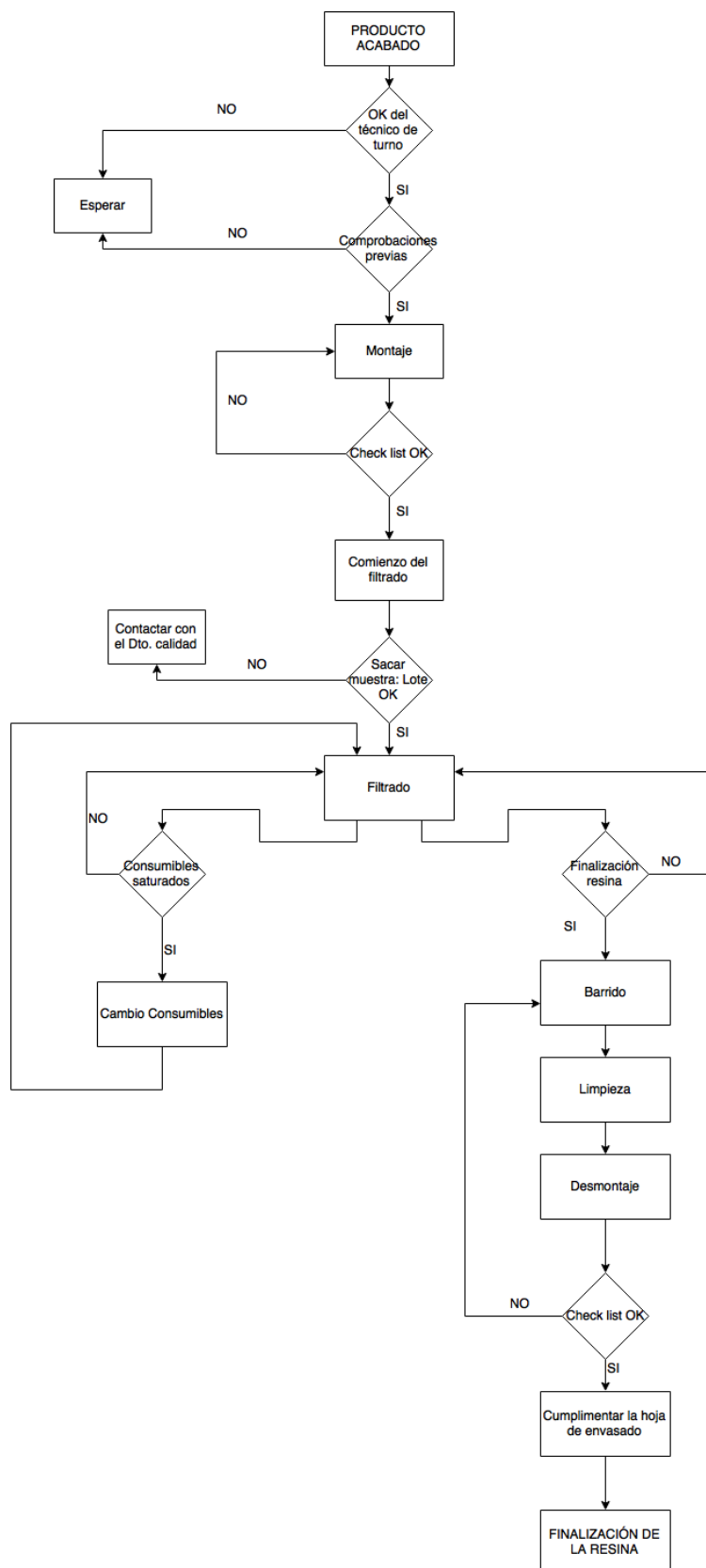


Ilustración 6.2. Diagrama de flujo del proceso de filtrado y/o envasado.

6.1. Plantear Preguntas

El listado de preguntas ayuda a conocer el comportamiento tanto de las X's como de las Y's y la relación entre ambas métricas. Contemplando el funcionamiento global del proceso, se hace una lluvia de preguntas que pueden ayudar a encauzar el camino que puede llevar a la resolución del problema y a tener más conocimiento del ámbito donde se trabaja.

Las preguntas planteadas fueron las siguientes:

- 6.1.1 ¿Cuál es la media y la variabilidad de los tiempos totales de filtrado/envasado de las diferentes resinas?
- 6.1.2 ¿Hay diferencia en los tiempos de filtrado entre Futurix y otros métodos usados?
- 6.1.3 ¿Hay diferencia en los tiempos y la variabilidad entre el filtrado y el envasado?
- 6.1.4 ¿La hora de inicio afecta a los tiempos de filtrado y/o la variabilidad?
- 6.1.5 ¿El tanque origen afecta a los tiempos de filtrado y/o la variabilidad?
- 6.1.6 ¿El envasador afecta a los tiempos de filtrado y/o la variabilidad?
- 6.1.7 ¿Los tiempos de filtrado y la variabilidad dependen de si el turno que realizó la tarea es de noche o de día?
- 6.1.8 ¿Qué demoras afectan más a los tiempos de filtrado?
- 6.1.9 ¿Cuánto se tarda en montar los diferentes equipos de filtrado?
- 6.1.10 ¿Cuál es la media de los consumibles que se gastan? ¿Cómo varían según las resinas?
- 6.1.11 ¿La viscosidad y otros parámetros de calidad afectan?

6.2. Revisar datos. Validar el sistema de medida.

Una vez planteadas las preguntas, debemos cuestionarnos si poseemos los datos que nos permiten contestar a las preguntas planteadas y si éstos son fiables.

En este proyecto los datos extraídos para responder a las preguntas anteriores son los correspondientes a las hojas de envasado y *checklists* que cumplimentan los envasadores antes y después de la operación de filtrado y envasado que se encuentran en formato *pdf* ya que son documentos escaneados. Como no es un formato que permita el estudio estadístico de los datos, se ha generado una base de datos *Access* y posteriormente se han introducido los valores a una tabla del programa estadístico Minitab®.

El criterio que se ha seguido a la hora de tomar los datos de las hojas de envasado para introducirlos a la base de datos ha sido el siguiente: Resinas A,B,C,D,E y F; en un intervalo de tiempo del 01/09/2015 al 25/11/2015. Generando así 109 datos en total. Cada dato corresponde a un lote diferente de envasado o filtrado. De cada lote se sabe el tiempo que ha tardado en filtrarse/envasarse, los kg filtrados, las demoras que se han presentado en el proceso de filtración/envasado y el tiempo que han durado estas demoras, el tipo de consumibles usados y el número que se han gastado, el equipo usado, el tanque origen y el tanque destino, la hora de inicio y la hora final, los envasadores que han llevado a cabo el proceso e indicadores de calidad (pH, viscosidad, fotometría, sedimentos, sólidos).

Se decide diferenciar entre los tiempos totales de filtrado/envasado de los tiempos reales en los que se ha llevado a cabo el proceso. Los tiempos reales se diferencian de los tiempos totales porque en los reales no se contabilizan las demoras (comida, fallo de equipos, falta de material...) y se les llama reales porque las demoras no forman parte del proceso en sí, sino que son actividades que interaccionan con él aumentando el tiempo de duración. Dependiendo de lo que queramos estudiar, es interesante contabilizarlas o no. Más adelante cuando se resuelvan las preguntas anteriormente planteadas se especificará si se contemplan o no las demoras.

Los tiempos del proceso que se apuntan en las hojas de filtrado y envasado en teoría abarcan desde el montaje hasta la limpieza. A la práctica, la limpieza nunca se contabiliza, es por eso que no se tendrá en cuenta. El hecho de si el montaje se contabiliza o no se discutirá más adelante.

A la hora de validar los datos, se han usado diferentes herramientas estadísticas como histogramas, estudios de normalidad o ANOVA. Las observaciones que se han obtenido son:

- Existen algunos puntos anómalos en la base de datos que falsean la media y la

variabilidad. Algunos casos son por generación de espuma de la resina, fallo de la bomba del equipo o envasadora atascada. Se decide eliminarlos porque son casos puntuales.

- El tiempo de filtrado de las resinas A, C, D y E tienen un comportamiento normal visible mediante histogramas y confirmado por el estudio de normalidad con un intervalo de confianza del 95% y considerando que un p-valor de 0,05.
- Las resinas B y F tienen demasiados pocos datos como para poder afirmar que el tiempo de filtrado tiene un comportamiento normal u otro diferente.

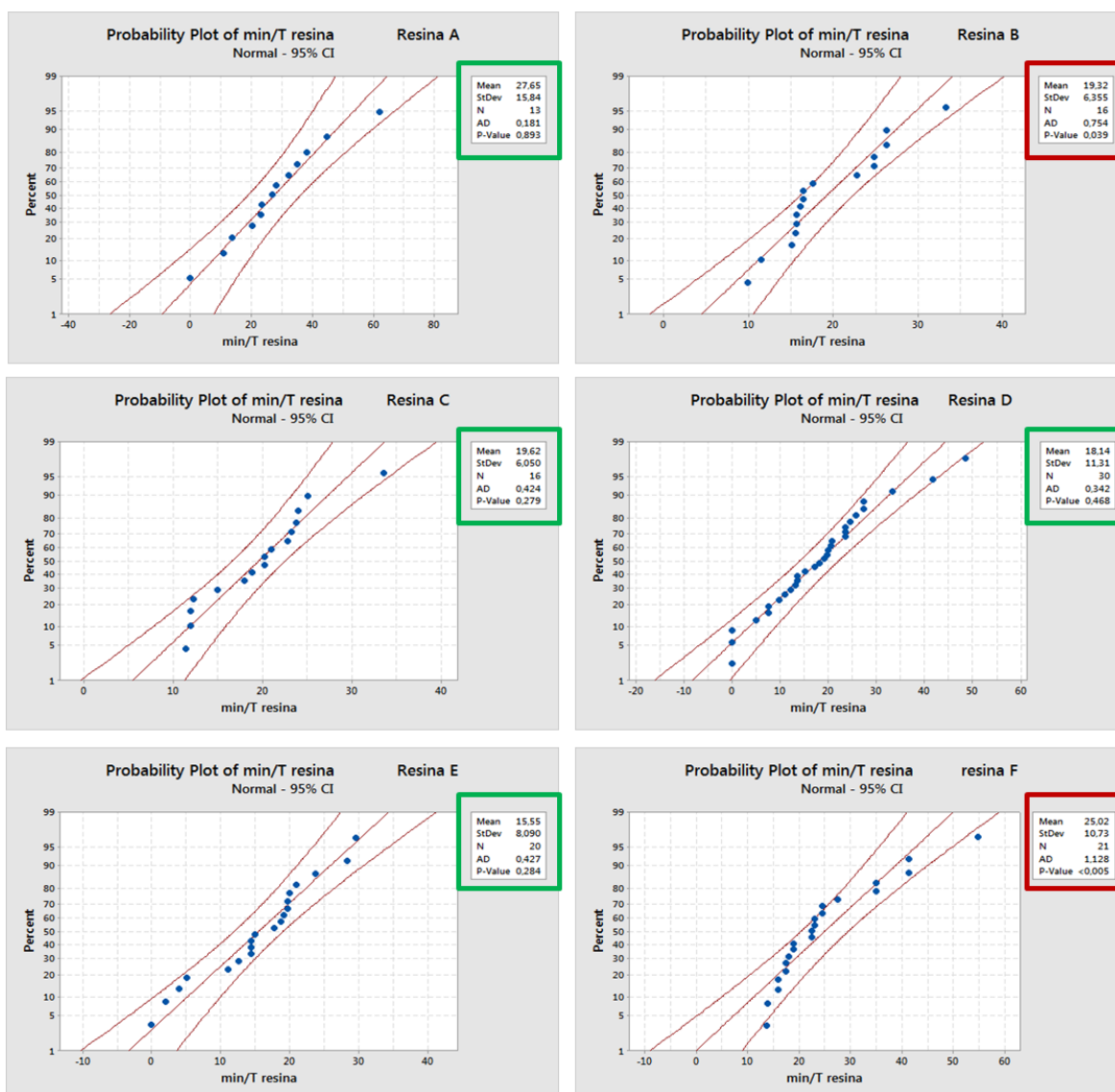


Ilustración 6.3. De arriba abajo y de izquierda a derecha: estudio de normalidad de las Resinas A, B, C, D, E y F. Los recuadros verdes indican p-valores superiores a α , eso indica que siguen un

comportamiento normal. Los recuadros rojos indican que el p-valor es inferior a α y por lo tanto no tienen un comportamiento normal.

Dado que los datos están recogidos por las personas encargadas del proceso, se debe tener en cuenta que existe un cierto error a la hora de cumplimentar las hojas de envasado de la que se forma la base de datos.

Aceptado este cierto rango de error, se concluye que la base de datos es fiable, ya que se pueden ver ciertas relaciones entre X's e Y's y no muestra un gran número de datos anómalos.

Para concluir, se pide al *Champion* que dé el visto bueno a la validación.

6.3. Recoger nuevos datos

En el punto anterior se ha comentado que los productos siguen un comportamiento normal menos la B y la F que no se puede afirmar por falta de datos.

Para poder conocer qué tendencia siguen los tiempos de filtrado de estas resinas, se debe recoger más datos y ampliar hasta 3 meses el historial llegando hasta el 01/06/2015. Se pasa de 109 datos a 129 datos en total.

Realizando el estudio de normalidad con un intervalo de confianza del 95% y considerando que un p-valor de 0,05, las resinas B y F siguen finalmente un comportamiento normal.

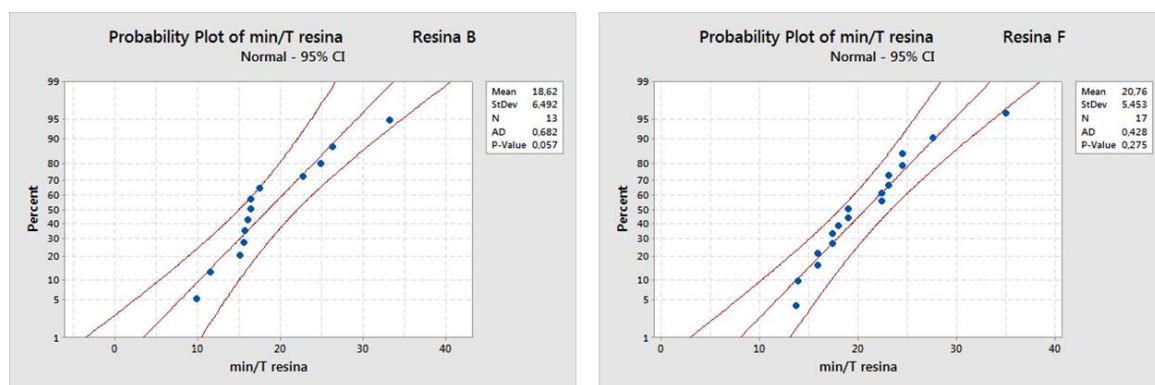


Ilustración 6.4. Segundo estudio de normalidad de las Resinas B y F donde el p-valor es superior a α .

6.4. Responder las preguntas planteadas.

Gracias al estudio estadístico de los datos que se obtienen de las hojas de filtrado y envasado, se pueden responder las preguntas planteadas en el apartado 6.2. Una vez resueltas las preguntas, es normal que surjan nuevas preguntas relacionadas, las cuales se han definido como subapartados de las preguntas planteadas previamente.

6.4.1. ¿Cuál es la media y la variabilidad de los tiempos totales de filtrado/envasado de las diferentes resinas?

Para realizar el estudio se elabora un histograma del tiempo total de filtrado/envasado por cada tipo de resina. En él se indica la media, la desviación estándar y el número de datos. En los tiempos de filtrado y envasado se han contabilizado las demoras para obtener valores generales.

Los valores de las medias oscilan entre 15,55 min/T y 27,65 min/T, las de las desviaciones estándar oscilan entre 6,05 min/T y 15,84 min/T.

Con las medias y las desviaciones estándar que obtenemos, podemos observar que la resina C y la E son las que menos tiempo requieren. Sin embargo la A y la F son las más extensas. Por otro lado, las que menos variabilidad presentan son la B y la C, dando valores mucho más precisos que la A y la F, que son los que mayor variabilidad presentan.

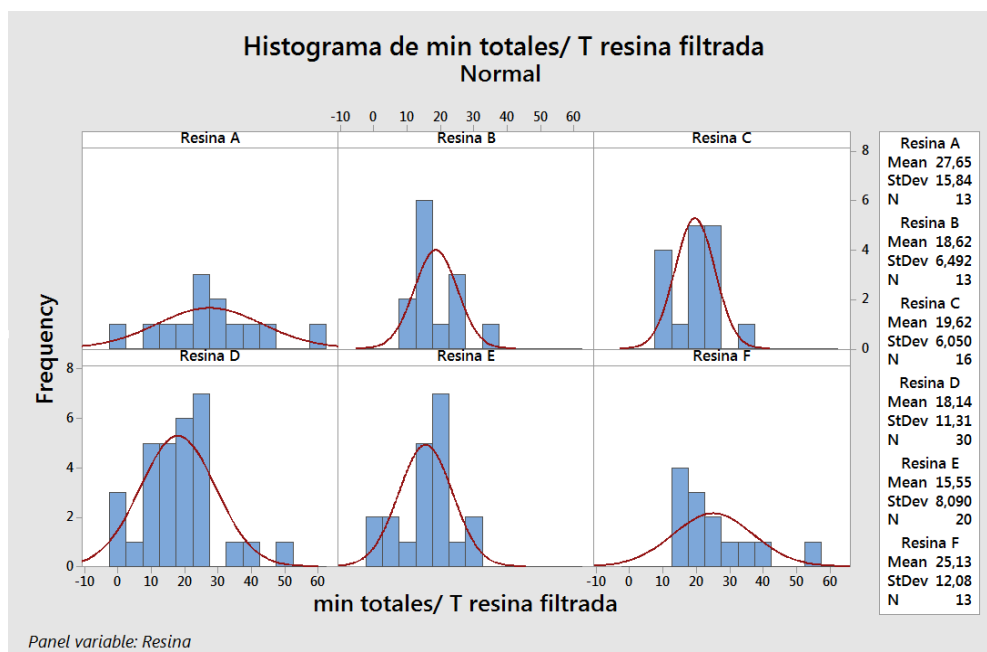


Ilustración 6.5. Histogramas de los tiempos totales entre la resina filtrada [min/T] de las seis resinas.

Así pues, se puede decir que la resina A es la que tiene la media y la variabilidad más alta; las resinas B, C y E son las que se obtienen valores más bajos y precisos.

6.4.1.1 ¿Y si no se contemplan las demoras?

Tanto las medias como las desviaciones disminuyen, aunque si se observa el porcentaje de disminución de la resina F se puede ver un gran salto tanto de la media (21,2%), como en la desviación estándar (31,62 %).

6.4.2. ¿Hay diferencia en los tiempos de filtrado entre Futurix y otros métodos usados?

Dado el hecho que el sistema de filtrado Futurix no es usado frecuentemente por los envasadores, no se han obtenido los suficientes datos como para poder afirmar o negar si Futurix presenta o no mejores medias o desviaciones estándar. Sin embargo, se puede obtener una idea global del conjunto. La repuesta de la pregunta número 6.4.8, que hace referencia a las demoras más comunes que se presentan, se concluye que los fallos de los equipos, en comparación con los humanos y los referentes a la logística de planta, son mucho menores. Por esa razón, no se han contabilizado las demoras ya que interesa saber qué equipo filtra y envasa más rápido sin tener en cuenta el fallo humano.

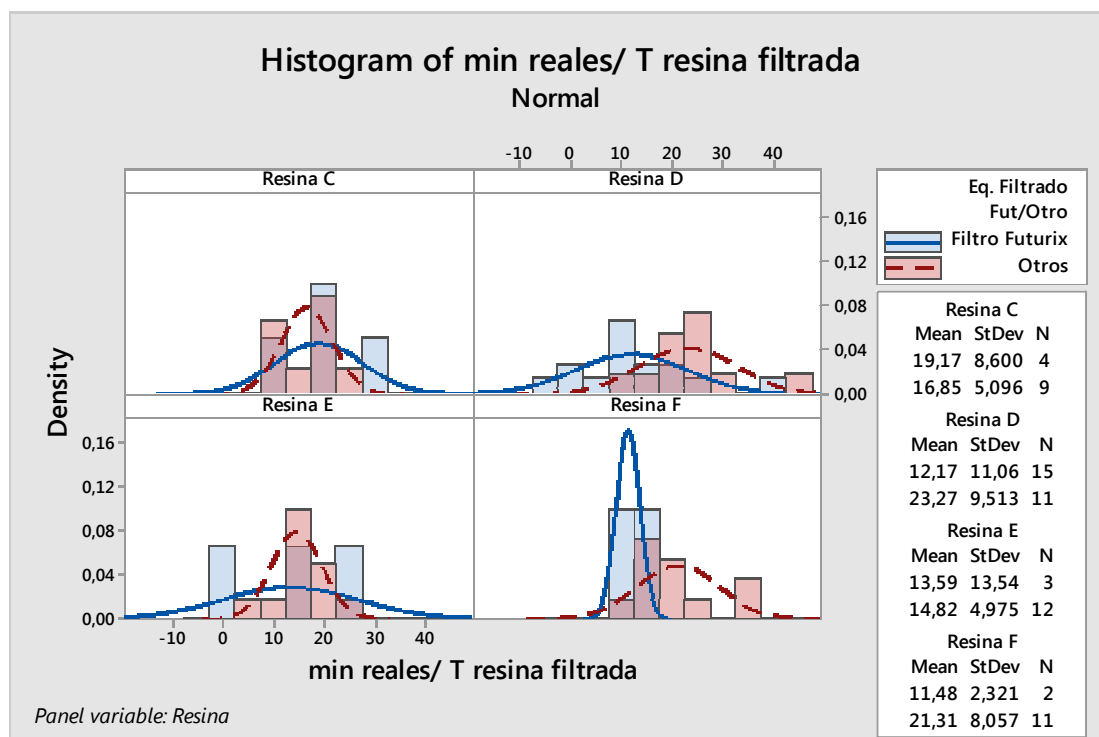


Ilustración 6.6. Histograma del tiempo real entre la resina filtrada [min/T] comparando el sistema

Futurix con el resto de sistemas de filtrado para las Resinas C, D, E y F.

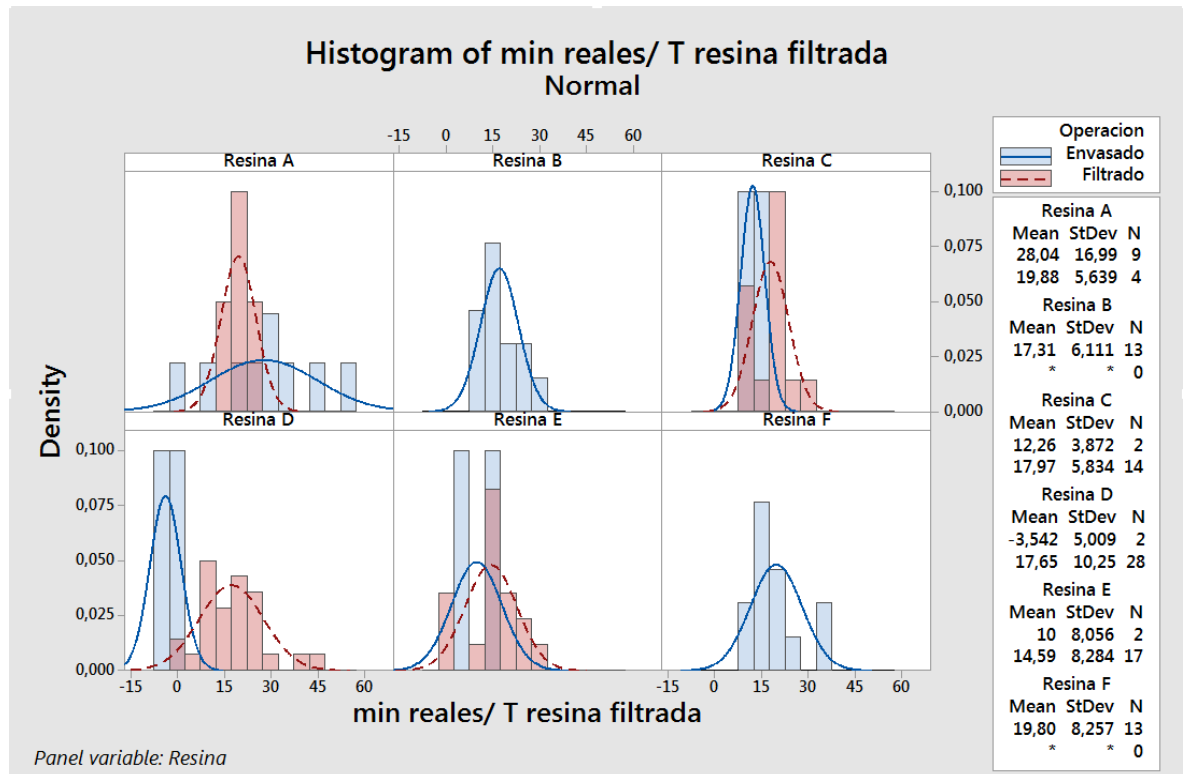
Las resinas que se han hecho más pruebas por Futurix y que por lo tanto, se ha podido hacer un estudio más extensivo son las resinas C, D, E y F. Según el estudio, la media de la D mejora un 47.7%, pero no la desviación estándar que empeora un 16.2%. También sucede lo mismo con la E, que disminuye la media un 8.2% y aumenta la desviación estándar estrepitosamente hasta un 172.1%. La F mejora ambas un 40.2% y un 13.0% respectivamente. No se puede decir lo mismo de la C que empeora ambas un 13.7% y un 68.7%.

6.4.3. ¿Hay diferencia en los tiempos y en la variabilidad entre el filtrado y el envasado?

Como hay algunas resinas que se envasan más que otras y viceversa, es difícil corroborar diferencias entre las dos técnicas por falta de datos. En el caso de la resina A que se obtienen un número de datos aceptable (9 datos en envasado y 4 datos en filtrado), se elabora un histograma diferenciando los lotes donde se ha envasado y los lotes donde se ha filtrado. Las demoras no están contabilizadas porque interesa saber solamente el tiempo del proceso.

En la resina A, realizando un histograma se observa una gran diferencia en la desviación estándar: el sistema de envasado presenta una desviación estándar de 18.30 min/T mientras que el filtrado presenta una de 6.02 min/T. La media también se ve afectada: 30.41 min/T en el envasado y 21.43 min/T en el filtrado.

Además de las diferencias de tiempo y de variabilidad, también se puede ver que las resinas B y F solo se envasan. Las C, D y E se filtran y se envían a tanque con más frecuencia, y la A se envasa más usualmente, pero también se filtra y se envía a tanque.



Il·lustració 6.7. Histograma del temps real entre la resina filtrada comparando el proceso de envasado y filtrado para las seis resinas.

6.4.4. ¿La hora de inicio afecta a los tiempos de filtrado y/o la variabilidad?

Al hacer un *Time Series Plot* en el programa Minitab® relacionando el tiempo total (demoras contabilizadas) del proceso con la hora en la que se da comienzo. Se ha obtenido una dispersión de puntos en los que no parece existir relación alguna, y que da a entender que no afecta la hora de inicio al tiempo de filtrado/envasado.

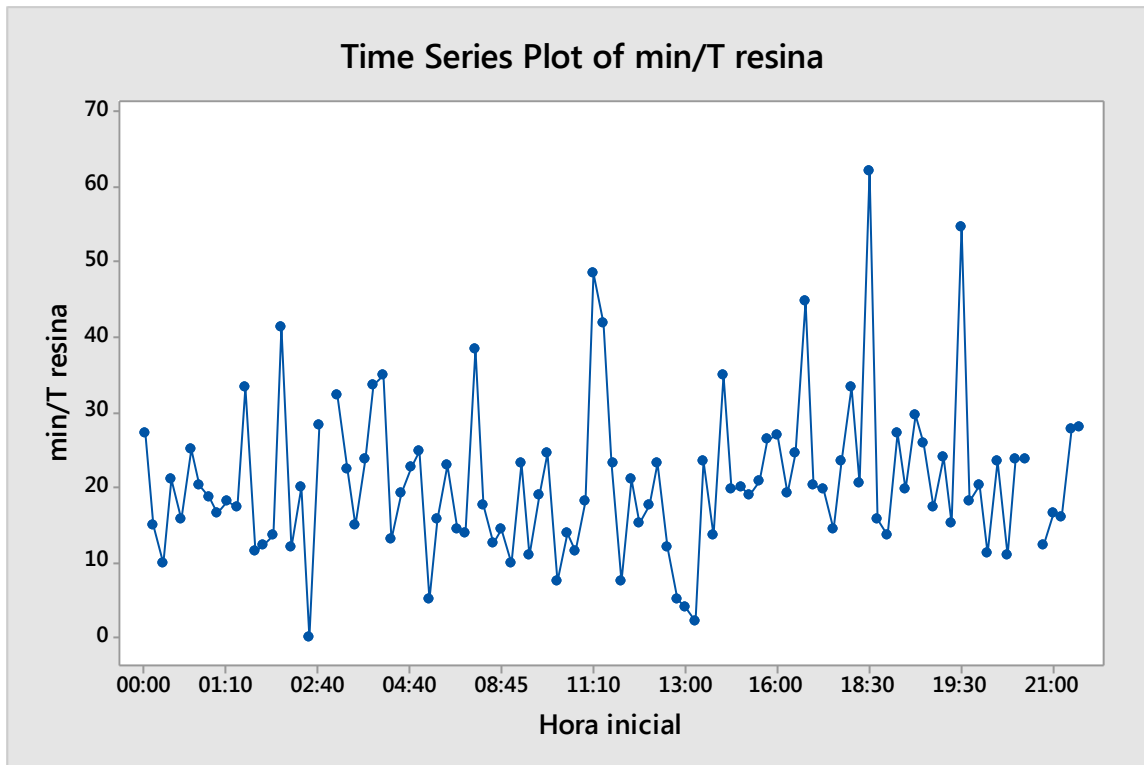
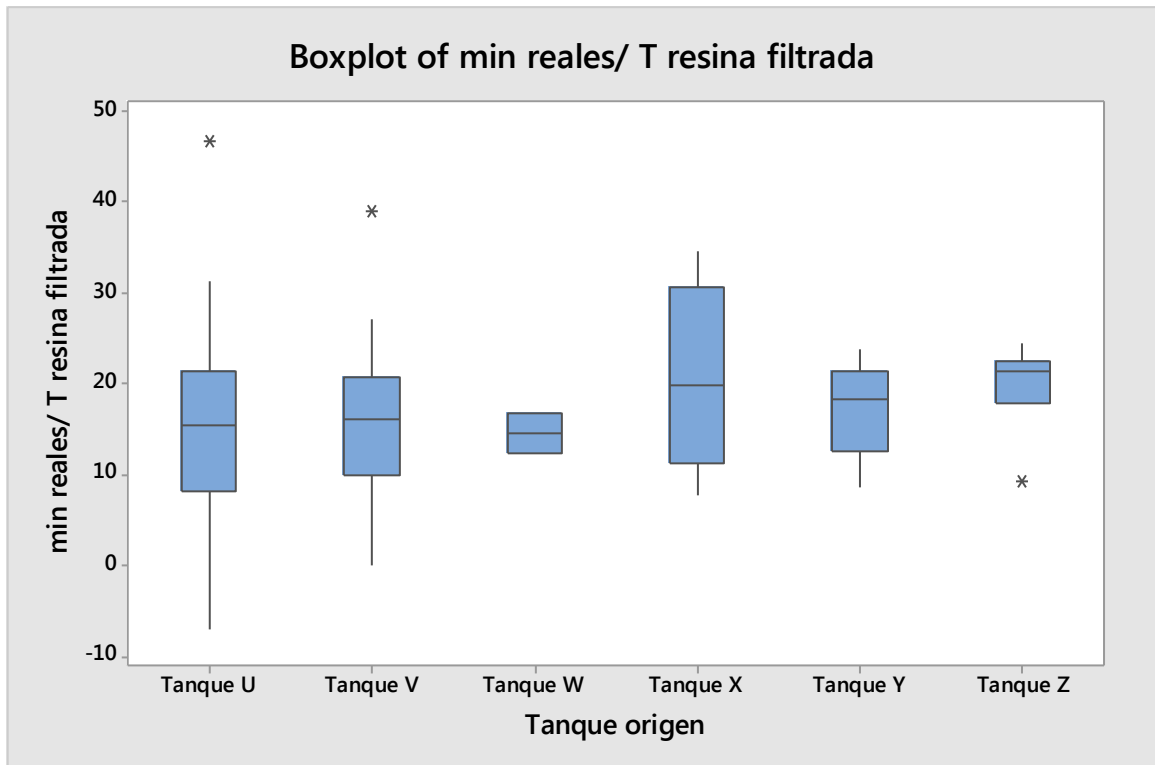


Ilustración 6.8. Times Series Plot de los tiempos totales entre la resina filtrada en función de la hora de inicio del proceso.

6.4.5. ¿El tanque origen afecta a los tiempos de filtrado y/o la variabilidad?

Mediante un *Boxplot* donde se relaciona el tiempo real sin demoras con los tanques origen, se observa dos grupos diferenciados: los que muestran una mayor desviación estándar, y los que muestran una menor desviación estándar. No se observan las demoras porque la interacción humana (que como se observa en la pregunta 6.4.8 es la demora más usual) no se relaciona con el funcionamiento de los tanques.

Los tanques U y V, son los que tienen una desviación mayor, siendo éste último el que más desviación tiene. En cambio los que menos desviación presentan son los tanques W, X, Y y Z. Se observa que la media no varía considerablemente.



Il·lustració 6.9. Boxplot del temps real de filtrado entre la cantidad de resina filtrada en función de los tanques origen.

6.4.6. ¿El envasador afecta a los tiempos de filtrado y/o la variabilidad?

Si se realiza un *Boxplot* de los envasadores vs el tiempo entre cantidad filtrada/ envasada, se puede ver que todos los trabajadores tienen medias similares, algunas un poco más altas que otros y unas desviaciones comparables. En el caso del operario 3, se puede observar una desviación mayor, seguido del operario 4. En cambio los operarios 6 y 7 a primera vista parecen bastante precisos.

Hace falta decir que se deberá profundizar más en este tema puesto que hay muchos factores que afectan.

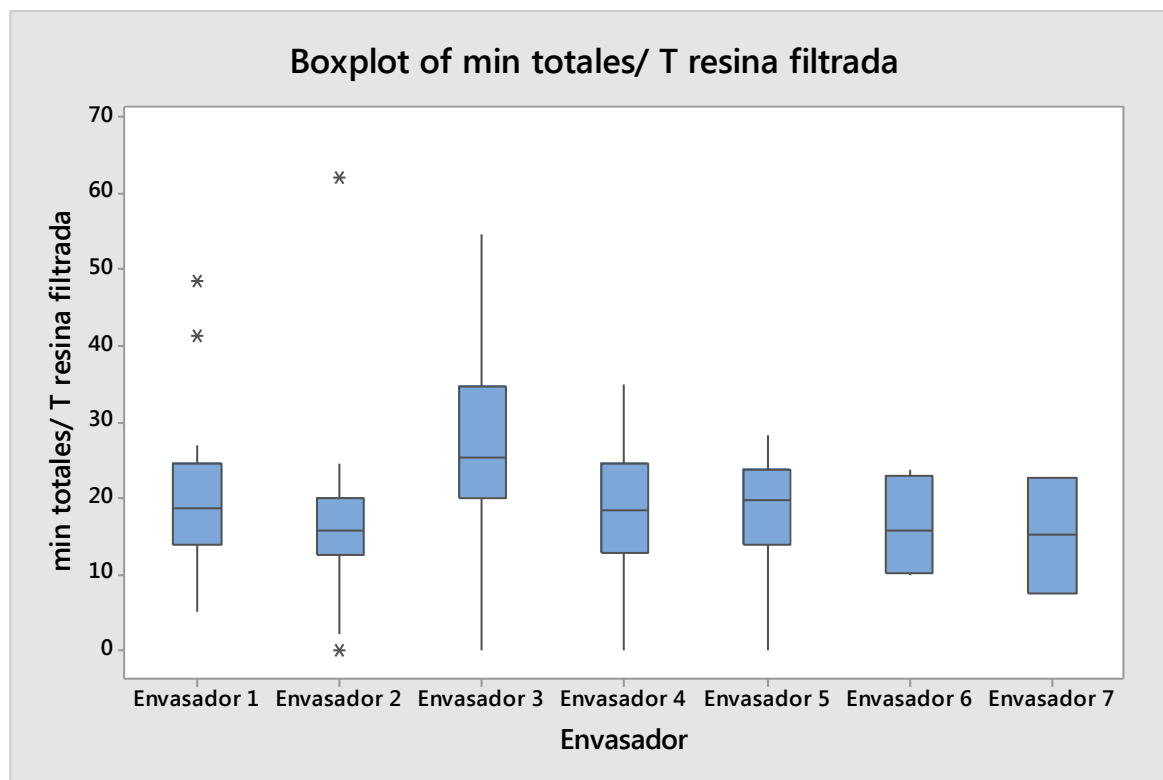


Ilustración 6.10. Boxplot del tiempo total de filtrado entre la cantidad de resina filtrada en función del envasador que llevó a cabo el proceso.

6.4.7. ¿Los tiempos de filtrado y la variabilidad dependen de si el turno que realizó la tarea es de noche o de día?

Como se ha concluido en la pregunta número 6.4.4, la hora de inicio no afecta a los tiempos de filtrado, se acepta también que no afecta si se realiza el proceso en el turno de noche o de mañana.

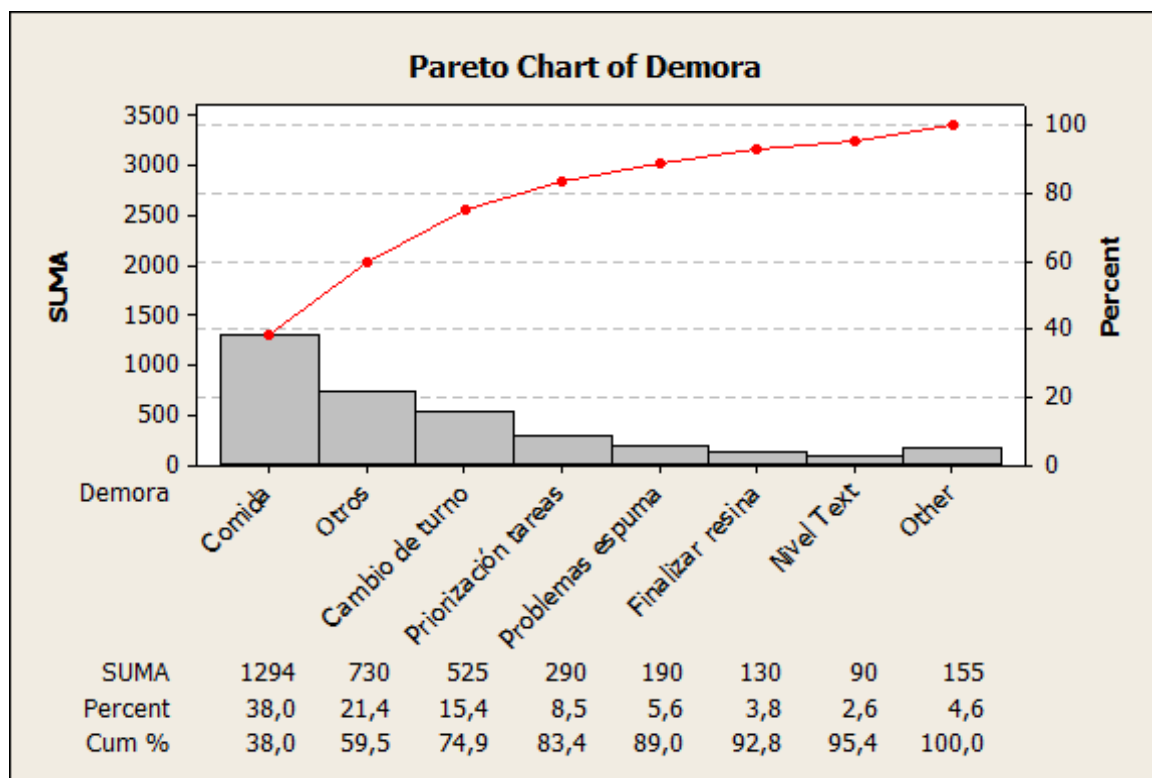
6.4.8. ¿Qué demoras afectan más a los tiempos de filtrado?

Realizando un diagrama de Pareto, se obtiene como demora principal la comida, seguida de "Otros" y de cambio de turno.

Cuando los operarios marcan la casilla "Otros" en la hoja de filtrado, suelen especificar la demora en el apartado de "observaciones". La mayoría de veces comentan que la demora ha sido por preparación previa del filtro, cambio de mallas o cartuchos, montaje del sistema o por fallo de la bomba.

Todas las observaciones anteriores menos la referente al fallo de la bomba, pertenecen al

proceso de filtrado y envasado, por lo tanto, deberían estar dentro de los tiempos de filtrado. Esto muestra que los envasadores no tienen conciencia de que la preparación de los equipos forma parte de todo el sistema y que no es una demora, aunque sí se debería reducir lo máximo posible ya que es una actividad sin valor añadido.



Il·lustració 6.11. Pareto de las demoras apuntadas en las hojas de envasado y filtrado.

También se debe puntualizar que en muchas ocasiones cuando se marca la casilla de demoras y qué tipo es, no se especifica el tiempo que ha durado ésta. Esto provoca que los datos obtenidos referentes a las demoras sean poco fiables. Sin embargo, para tener una idea global del proceso es suficiente.

6.4.9. ¿Cuánto se tarda en montar los diferentes equipos de filtrado?

La única manera en la que se ha podido obtener la respuesta ha sido preguntando a los operarios cuánto creían que tardaban en montar un equipo, puesto que en las hojas de control no existe ningún apartado donde especificarlo.

Todos coinciden en que depende del equipo que se utilice: Niágara es el que más se tarda y por eso es el que se intenta utilizar menos. Los equipos móviles o la envasadora se tarda

una media de 20 minutos.

Con lo que respecta a Futurix, no coinciden: algunos comentan que se puede llegar a tardar hasta una hora, sin embargo algunos comentan que en 30 minutos ya está listo. La diferencia radica en que los que dicen que se tarda una hora hacen el cambio de mallas a la vez, o sea, las 12 mallas (6 por equipo). En cambio, los que dicen que se tarda menos es porque ponen las 6 mallas, hacen el by-pass, y mientras la sustancia pasa por un equipo montan el otro que no se usa. Así pues, no coinciden los criterios de los envasadores, ni la manera de ejecutar la tarea.

6.4.10. ¿Cuál es la media de los consumibles que se gastan? ¿Cómo varían según las resinas?

Mediante un *Scatterplot* del número de consumibles vs el tiempo/cantidad de resina filtrada, se observa en la dispersión de datos que se usan menos mallas que cartuchos.

Para concretar la cantidad que usa cada resina se hace un *Dotplot* donde se aprecia que el gasto de consumibles de las resinas D y E suele ser regular y poco variable, centrado en 13 consumibles/filtrado. Las demás presentan una variabilidad grande.

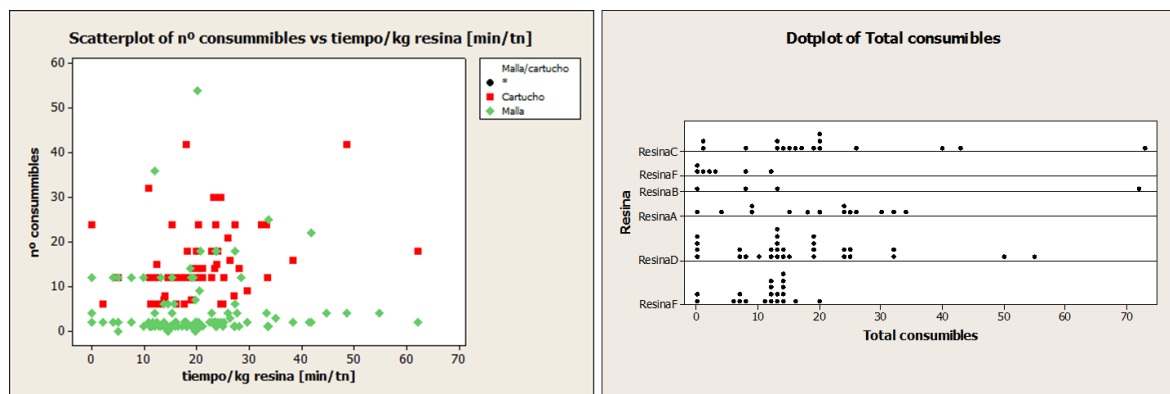


Ilustración 6.12. De izquierda a derecha: Scatterplot del nº de consumibles gastados en función del tiempo total entre la cantidad de resina filtrada diferenciando cartuchos y mallas; Dotplot de los consumibles gastados para cada resina.

Diferenciando las diferentes resinas, se puede comprobar que comparando el número de consumibles con las toneladas que se han filtrado o envasado, las que más gastan son la A y la C (489 unidades para 306 T y 376 unidades para 245 T respectivamente). En cambio las que menos cantidad de consumibles gastan son la E y la F (59 unidades para 197 T y 283 unidades para 392 T respectivamente).

6.4.10.1 ¿Las combinaciones que dan mejores tiempos de filtrado y envasado coinciden con las combinaciones más usadas?

Aunque las combinaciones de mallas y cartuchos para cada producto está estandarizado, en realidad se utilizan muchas combinaciones diferentes debido a que el historial está anticuado y no corresponde a las necesidades actuales.

Según lo observado en los datos obtenidos, además, en ningún caso coincide la combinación de cartucho-malla que da mejores tiempos de filtrado/envasado con la más usual.

Hay que tener en cuenta que el primer consumible se usa para retener los sedimentos y que puede cambiar según el criterio del envasador. Si el trabajador cree que la sustancia presenta una cantidad considerable de sedimentos utilizará un consumible u otro. En cambio, el segundo marca la calidad del producto, por lo tanto sólo se puede utilizar el estipulado u otro con un micraje más pequeño.

6.4.10.2 ¿Cómo varia el número de consumibles gastado diferenciando Futurix de “Otros”?

Diferenciando Futurix de otros equipos de filtrado obtenemos que en los 3 meses que se han tomado los datos se han gastado:

Equipo	Consumibles gastados [Uds.]	Tiempo total filtrado [min]	Consumibles gastados [Uds./h]
Futurix (solo mallas)	160	4100	2,28
Otros	mallas: 366 cartuchos: 646	26500	mallas: 0.9 cartuchos: 1.44

Tabla 6.1. Consumibles gastados diferenciando Futurix de otros sistemas en función de las horas de filtrado.

Si se traduce la tabla anterior en costes, tanto de residuo como de compra:

Futurix → 11€/h filtrado

“Otros” → 13€/h filtrado

El uso de cartuchos incrementa el coste por su precio de compra y gestión de residuo y porque para un mismo filtrado se requieren más cartuchos que mallas.

6.4.11. ¿La viscosidad y otros parámetros de calidad afectan?

Escogiendo 3 resinas: B, D y F, se toman los siguientes datos de calidad: pH, Viscosidad, Fotometría, Sedimento, Tamaño de la partícula (para la resina D). Mediante un *Scatterplot* comparando estos datos con los del tiempo real que se tardan en filtrar las resinas, se obtienen, para las tres resinas, nubes de puntos sin relación aparente.

Como se ha comentado anteriormente en el apartado 6.4.10.1, según cómo vea el envasador la cantidad de sedimento que presenta la resina, utilizará un cartucho de un micraje u otro en el prefiltrado. Este hecho reduce el efecto que podría tener la cantidad de sedimentos en los tiempos de filtrado y envasado.

Por motivos de confidencialidad no se adjunta los estudios estadísticos a los que se hace referencia.

6.5. Cuantificar la situación actual

El último nivel de Medir es formalizar los conocimientos adquiridos en la resolución de las preguntas planteadas.

Para ello, se debe tener un conocimiento detallado del proceso, entender el sistema de medida, saber cuáles son las métricas clave Y y saber qué características X's pueden afectar a las Y para ser analizadas en la fase Analizar.

Una vez clarificados los puntos anteriores se puede valorar tanto la situación de partida, donde se mantendrá una visión global del conjunto del proceso, y todo seguido, una visión centrada en el sistema de filtrado Futurix.

6.5.1. Visión global del sistema de filtrado y envasado

Si se mantiene una visión del proceso de forma global tanto de filtración como de envasado, la situación de partida es que se disponen de 6 resinas mayoritarias a filtrar y envasar, que cada una muestra unas características diferentes.

Se dispone de resinas que son rápidas de filtrar y además se suele hacer con precisión, como las resinas B, C y D. También se dispone de otras que requieren mayor tiempo y muestran una menor precisión como las resinas A y F.

Se generan dos procedimientos diferentes a la hora de almacenar los lotes: envasado en IBCs o bidones como las resinas B y F, o enviados a tanque de estocaje como las C, D y E. Hay algunas resinas más flexibles donde se puede escoger qué proceso ejecutar como la resina A qué se puede envasar o filtrar y enviar a tanque indistintamente.

Es interesante comparar ambos procesos y contemplar las diferencias tanto en la media como en la desviación estándar del tiempo de filtrado y envasado. Si se hace caso de las gráficas, se puede ver que el envasado es más rápido que el filtrado. Esto no concuerda con la realidad. Si se va a campo y se compara un proceso con otro en vivo, se puede percibir claramente que el envasado muestra más retrasos por el cambio de envases y transporte de éstos a almacén. Esto es porque estas acciones se asimilan dentro del proceso y no se contabilizan como demoras (y de hecho así es). En cambio las demoras de los procesos de filtración suelen estar mal cumplimentadas.

Si se refiere a los turnos de los operarios, la Planta de producción trabaja 24 horas diarias en dos turnos de mañana y noche de 12 horas. Éstos empiezan y acaban a las 6:00h y a las 18:00h y viceversa. El hecho de tener dos turnos diferenciados solo afecta escasamente a la demora que puede ocasionar el hecho de cambiar de envasador. Ni el hecho de que el turno sea de mañana o tarde, ni la hora en la que se inicia el filtrado o envasado parece afectar al funcionamiento del proceso.

El tema de las demoras es un punto a mejorar, sobretudo la clarificación de qué es demora y qué es parte del proceso. También una acción a tener en cuenta es manifestar la importancia de diferenciar entre el tiempo que se tarda en filtrar la sustancia y el tiempo que se tarda en montar el equipo. El primero es parte esencial de producción y calidad, en cambio el segundo no aporta valor al cliente, sino que es una faena previa y necesaria que consume tiempo y no aporta valor a la resina que se vende a los clientes. Es una actividad que hay que reducir.

Otro factor a destacar es el poco efecto de las características de la resina (viscosidad, pH, sedimentos...) al tiempo de filtrado. Es una buena noticia puesto que son parámetros que no se pueden controlar desde el sistema de filtrado y envasado, sino que pertenecen al proceso de producción y que quedarían fuera del alcance del proyecto.

Otro hecho a destacar es la sensibilidad que presenta la resina F ante las demoras. Esto hace pensar que una buena reducción de las demoras en esta resina podría ocasionar una

gran mejora en los tiempos de filtrado y envasado de ésta.

Por último, comentar la gran cantidad de consumibles que se usa y el dinero que éstas cuestan tanto para obtenerlas como para gestionarlas como residuo una vez utilizadas. Los cartuchos utilizados, al pesar más, cuestan más del triple en lo que se refiere al tratamiento como residuo. Si se quiere reducir los costes conviene reducir las consumiciones de cartuchos y potenciar el uso de mallas. Como Futurix es un equipo que solo usa mallas, fomenta la reducción de los cartuchos.

6.5.2. Visión del sistema de filtrado y envasado centrado en Futurix

Centrándose solo en el equipo Futurix, se ve claramente que el número de datos es bajo y que esto no aporta un estudio exhaustivo de las posibles diferencias entre el equipo que se quiere mejorar con los demás. Es por esa razón que se decide planificar más pruebas con este equipo sobretodo de las resinas A y la B.

Futurix es un equipo poco utilizado por su falta de facilidad a la hora de manipularlo. Según los trabajadores se puede llegar hasta una hora de preparación ya que hay que colocar mangueras, doce mallas, hay que enroscar las tapas, y abrir válvulas. Esto hace que a la hora de escoger entre un equipo u otro, se escoja el que no es Futurix.

Sabiendo todo lo comentado anteriormente se retocan los objetivos definidos en la anterior etapa Definir de la siguiente manera:

- Reducción del tiempo total de filtrado y envasado en un 30% [min/T]: de ahora en adelante se modificará a reducción del tiempo de preparación de los equipos [min].

Esta variación viene dada porque se ha observado que una de las actividades más críticas y que afectan más a los tiempos de filtrado y envasado totales es el largo tiempo que se usa a la hora de montar el filtrado Futurix.

- Reducción de la variabilidad en un 20% [min/T]: permanecerá de la misma manera, aunque se pueden intuir aspectos que afectan como los movimientos internos, la logística de tanques o la divergencia de criterios de uso de los equipos.
- Reducción del consumibles en un 30 % [Uds.]: permanecerá de la misma manera.

Así pues, los objetivos finales son:

- Reducción del tiempo de montaje de equipos: Reducir de 1 hora a 20 minutos la

preparación de la instalación Futurix.

- Reducción de la variabilidad del tiempo de filtrado/envasado: Reducir la variabilidad en un 20 % estandarizando el proceso y determinando qué mallas usar.
- Reducción de consumibles: Reducir la cantidad de cartuchos consumidos en un 30% estandarizando el proceso y determinando qué mallas usar.

Una vez actualizado el *Project Charter*, se puede seguir el proyecto hacia la siguiente etapa.

7. Analizar

Se ha obtenido en la etapa anterior una visión global del conjunto, una identificación de X's e Y's, gracias a las preguntas planteadas, que además, a la hora de responderlas han permitido mostrar una posible relación causa-efecto o no. Estas preguntas se discutirán a través de la etapa Analizar donde se caracterizan las relaciones entre estas variables mediante la generación de pruebas, diagramas y estudios estadísticos.

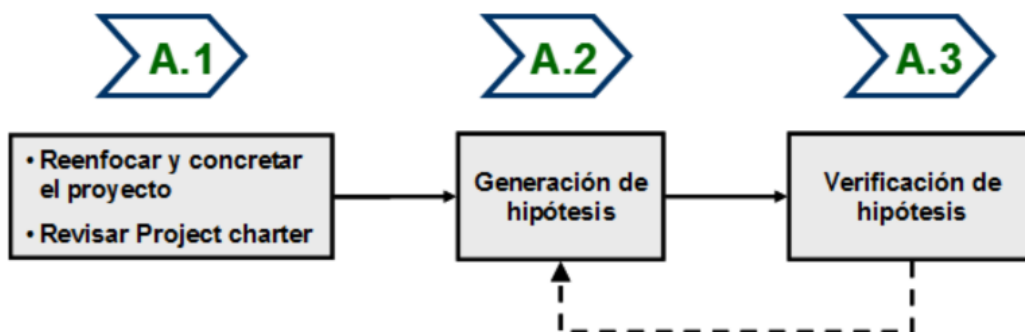


Ilustración 7.1. Esquema de los pasos que se seguirán en la etapa Analizar.

7.1. Reenfocar y concretar el proyecto

La etapa Medir ha permitido obtener una idea de la situación inicial del proceso. Algunos comentarios para redefinir el proyecto son:

- Siempre hablaremos del proceso de filtrado, aun cuando sea envasado, puesto que siempre se debe pasar por esta etapa.
- El proceso de filtrado en Futurix se diferencia en tres etapas: montaje, filtración y limpieza. La primera y es crítica ya que no aporta valor al cliente y afecta al tiempo de filtración. La segunda sí aporta valor, y la tercera no es la más importante de simplificar, ya que está al final de la etapa y se hace una vez ya está filtrada la resina.
- El juego de mallas se refiere a la combinación micraje prefiltrado-micraje Equipos Futurix, y es importante porque ayudará a la optimización de los tiempos de filtrado.
- El montaje de Futurix está condicionado por: instalación de mangueras, sistema de prefiltrado, apertura de los equipos y colocación de las mallas en los equipos. Está caracterizado por muchos movimientos internos (búsqueda de mangueras,

consumibles, movimiento entre departamentos...).

- Se retoca el Project Charter con los nuevos objetivos comentados en el apartado Medir 6.5.2.

7.2. Generación de hipótesis

Para focalizar el problema, se estudiarán algunas problemáticas surgidas a raíz de las preguntas formuladas en el apartado anterior:

Preguntas realizadas en el apartado Medir	Observación/es que se analizará y referencia
6.4.1 ¿Cuál es la media y la variabilidad de los tiempos totales de filtrado/envasado de las diferentes resinas?	<p>→ 7.3.1 Hay una alta variabilidad en los tiempos de filtrado.</p> <p>7.3.2 La resina F muestra muchas demoras.</p> <p>7.3.3 La resina A muestra una alta variabilidad.</p>
6.4.2 ¿Hay diferencia en los tiempos de filtrado entre Futurix y otros métodos usados?	<p>→ 7.3.4 La resina E parece filtrarse más rápidamente mediante los equipos Futurix.</p> <p>7.3.5 No se usa Futurix regularmente.</p>
6.4.3 ¿Hay diferencia en los tiempos y la variabilidad entre el filtrado y el envasado?	<p>→ 7.3.3 La resina A muestra una alta variabilidad. Podría ser debido a que se envasa y filtra por igual.</p>
6.4.4 ¿La hora de inicio afecta a los tiempos de filtrado y/o la variabilidad?	<p>→ No afecta. Por lo tanto, no hay observaciones para analizar.</p>
6.4.5 ¿El tanque origen afecta a los tiempos de filtrado y/o la variabilidad?	<p>→ 7.3.6 Existen posibles diferencias de variabilidad de tiempos entre los tanques origen.</p>

6.4.6 ¿El envasador afecta a los tiempos de filtrado y/o la variabilidad?	→	7.3.7 Existen posibles diferencias tanto en la media como en la variabilidad entre los envasadores.
6.4.7 ¿Los tiempos de filtrado y la variabilidad dependen de si el turno que realizó la tarea es de noche o de día?	→	No afecta. Por lo tanto, no hay observaciones para analizar.
6.4.8 ¿Qué demoras afectan más a los tiempos de filtrado?	→	7.3.8 El montaje de equipos, los cambios y la limpieza se consideran demoras. ¿Por qué?
6.4.9 ¿Cuánto se tarda en montar los diferentes equipos de filtrado?	→	7.3.8 No existen tiempos exactos de montaje debido a falta de datos.
6.4.10 ¿Cuál es la media de los consumibles que se gastan? ¿Cómo varían según las resinas?	→	7.3.9 La problemática de la estandarización de mallas.
6.4.11 ¿La viscosidad y otros parámetros de calidad afectan?	→	No afecta. Por lo tanto, no hay observaciones para analizar.

Tabla 7.1. Resumen de las preguntas respondidas en la etapa Medir y observaciones que se analizarán frutos de estas respuestas.

7.3. Comprobación de hipótesis

Con lo observado en la etapa Medir, se van a utilizar herramientas más sofisticadas para profundizar en algunas cuestiones planteadas en la etapa anterior. Estas serán:

7.3.1. Diagrama causa-efecto: Alta variabilidad de los tiempos de filtrado

Los diagramas *root causes* o diagramas de pez, muestran las posibles causas raíces de la problemática. También sirven para hacer una primera visualización de *gaps*⁴ del proceso, para después, en el apartado 7.4 hacer un estudio más exhaustivo de estos.

⁴ Nomenclatura usada en Lean. Son problemas muy concretos que se encuentran o en el proceso o en la metodología con la que se lleva a cabo el proceso.

Cuando se observa la variabilidad se tiene que tener en cuenta que la mayoría de la documentación está mal cumplimentada: las horas de inicio y final tienen un margen de error de aproximadamente 10 minutos, a veces, aunque sean pocas, se cuenta el montaje, otras veces se cuenta la limpieza dentro de estos tiempos, hay demoras que se contabilizan y otras no, sobre todo si ha habido cambio de turno y el envasador que ha sufrido la demora no se ha acordado de apuntarlo. Así pues, para tener una idea real de cómo ha funcionado el proceso, de ahora en adelante se observarán las líneas de tendencia de los tanques que se obtienen de los sensores másicos y las células de carga visibles a través de las pantallas de sala de control, los cuales se hablará con mayor detenimiento en la siguiente etapa.

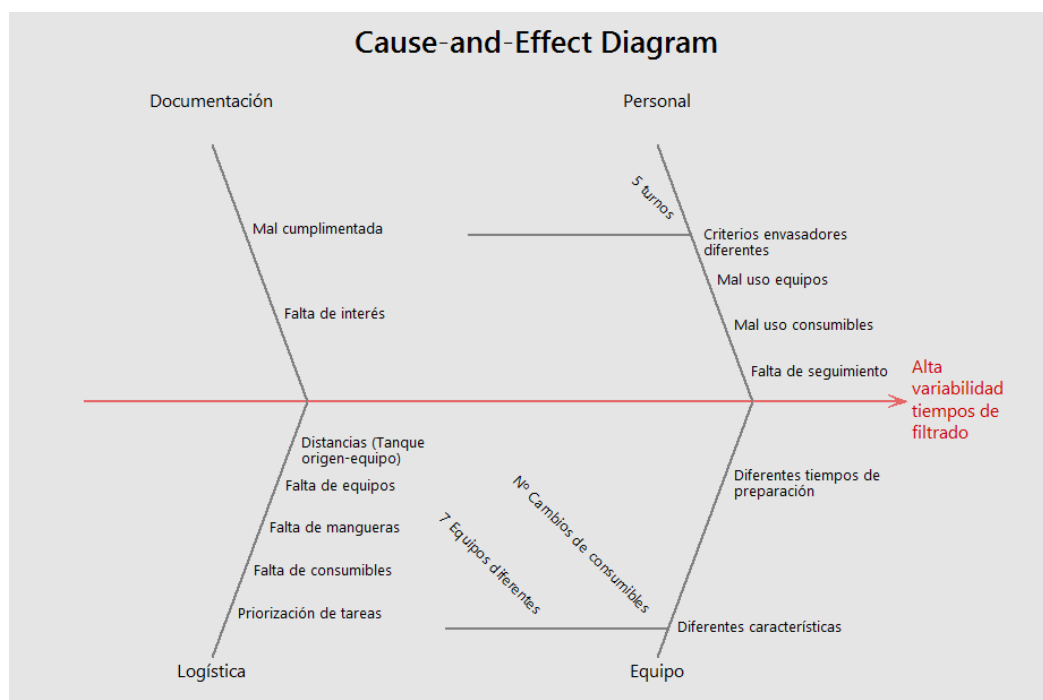


Ilustración 7.2. Diagrama Causa-Efecto del por qué no existe una alta variabilidad en los tiempos de filtrado y envasado.

Los movimientos internos (búsqueda de mangueras, consumibles, equipos...) dentro de la misma planta son un factor que influye a la hora de montar los equipos. Dependiendo de lo ordenada que esté la fábrica y la cantidad de producto que se está filtrado a la vez habrá más movimientos internos o no.

Como se ha comentado antes, el uso de mallas para cada resina está estandarizado, pero está anticuado. Así pues, los envasadores cambian el micraje dependiendo de su experiencia. Esta causa provoca mucha variabilidad, igual que la falta de seguimiento por parte de ellos, que provoca demoras por no cambiar los consumibles saturados. Cuando los cartuchos o mallas están saturados, el producto ya no pasa aunque la bomba siga

funcionando.

7.3.2. La resina F muestra muchas demoras

Si se compara la media contando o no las demoras, esta baja un 21% y la desviación estándar baja un 32% en caso de no contabilizar demoras.

Realizando un diagrama Pareto de las diferentes demoras en primer lugar con un 38% se presenta la de priorización de tareas, seguida de la comida con un 33%. Priorización de tareas significa que mientras la resina se está filtrando, los envasadores están pendientes o de otros productos o de otras actividades que consideran más importantes hacer en ese momento.

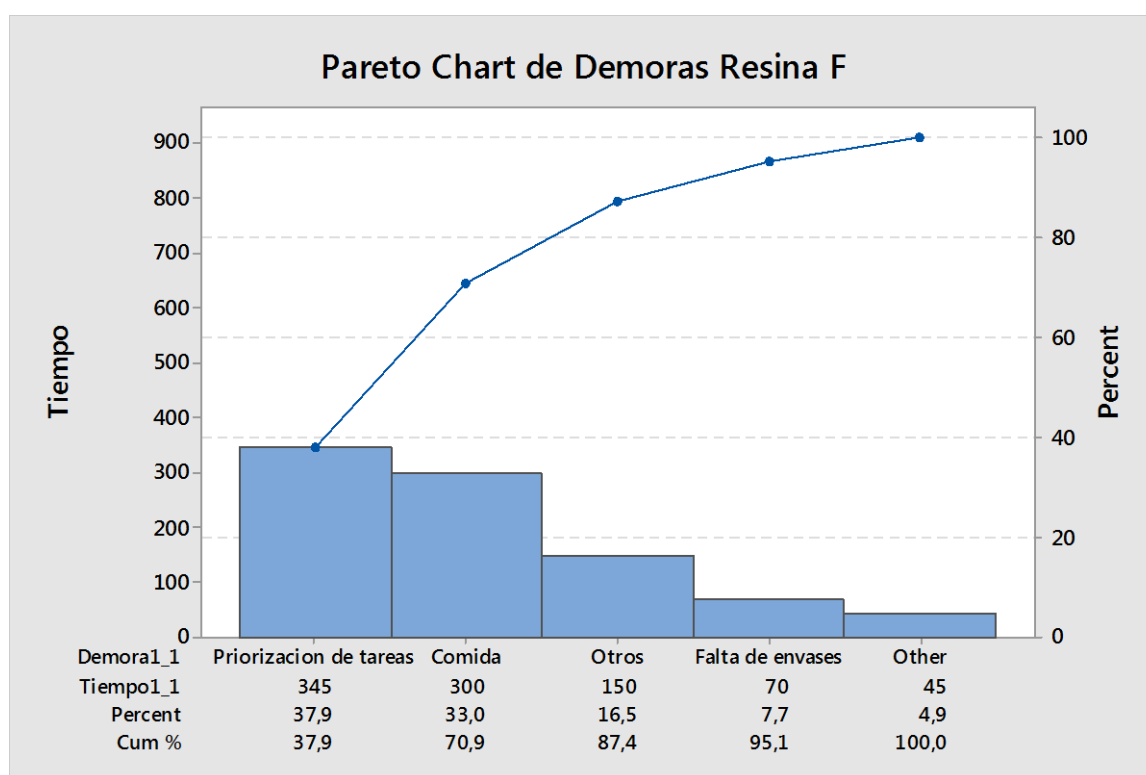


Ilustración 7.3. Pareto de las demoras de la Resina F.

La Resina F es una resina fácil de filtrar, esto significa que no suele dar problemas aunque se le coloque un consumible con un micraje inadecuado, y además, suele tardar un tiempo relativamente largo antes que éstos se saturen. Por lo tanto, es posible que exista una posible falta de consideración.

Lo que pasa con esta resina, se puede extrapolar a otras, porque el sistema de filtrado (no el de envasado) no requiere estar pendiente todo el rato, solo cuando se debe realizar el cambio de consumibles o finalizar la resina, así pues los envasadores pueden tardar un

tiempo en darse cuenta de que tienen que realizar el cambio o ejercer el *by-pass*.

7.3.3. La resina A muestra una alta variabilidad

La resina A es un producto que se puede filtrar o envasar según como lo especifique el cliente final. Realizando un histograma comparando el filtrado junto el envasado, se puede observar una mayor dispersión en el envasado, junto con una mayor media de los tiempos totales (contando demoras) entre las toneladas filtradas o envasadas.

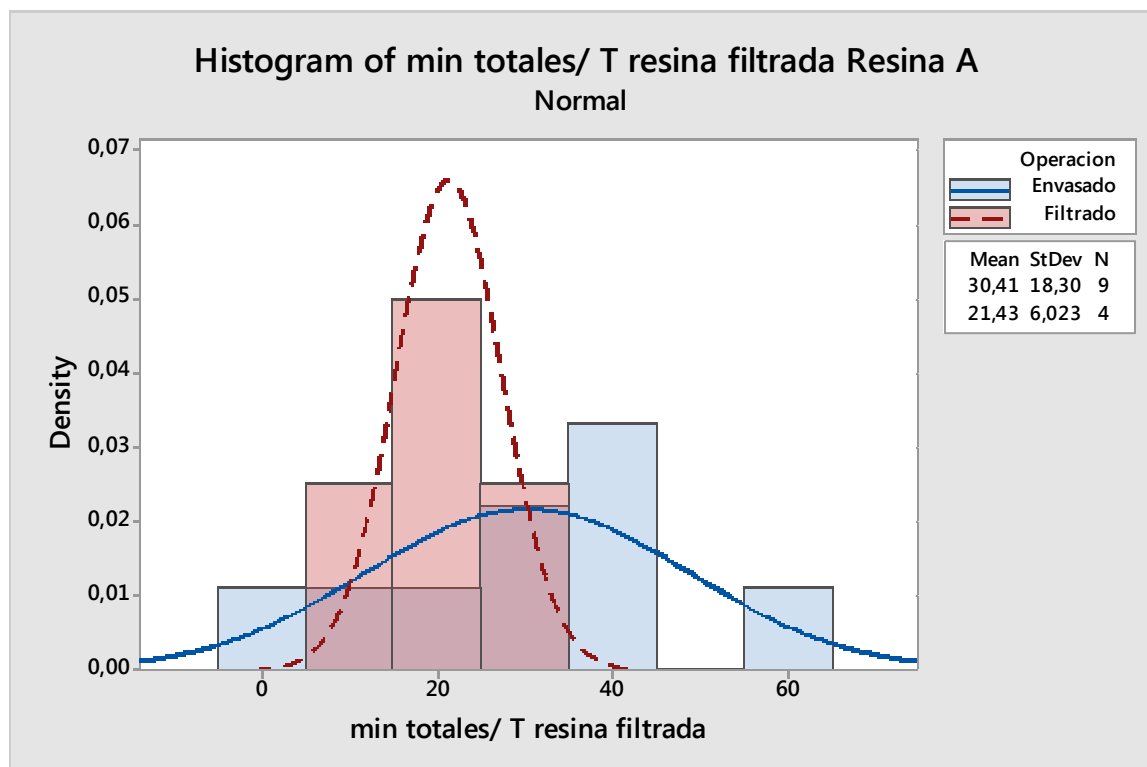


Ilustración 7.4. Histograma del tiempo total entre la cantidad filtrada de la Resina A diferenciando envasado y filtrado.

Esto se debe a que el envasado requiere hacer pequeñas paradas cada cierto tiempo para pasar de un envase a otro. Además, el operario tiene que llevar el IBC o el pallet con bidones al lugar determinado para producto acabado.

El envasado se puede hacer en IBCs (container de plástico) de 1050 kg o en bidones de plástico de 120 kg. Para los bidones, las paradas son más numerosas a causa de una menor capacidad en comparación con los IBCs, y a causa de que el proceso es más manual, requiere el uso de una caña que hay que bajar, llenar y retirar. Por lo tanto, es más laborioso y depende de las habilidades del operario.

Realizando otro histograma, se comprueba que los bidones muestran más dispersión y una media un poco más alta. Esto es debido a la diferencia de capacidad entre los IBC y los bidones, así pues, los cambios entre bidones es más numeroso y depende tanto de la rapidez del envasador como de la rapidez de la envasadora (hay dos envasadoras).

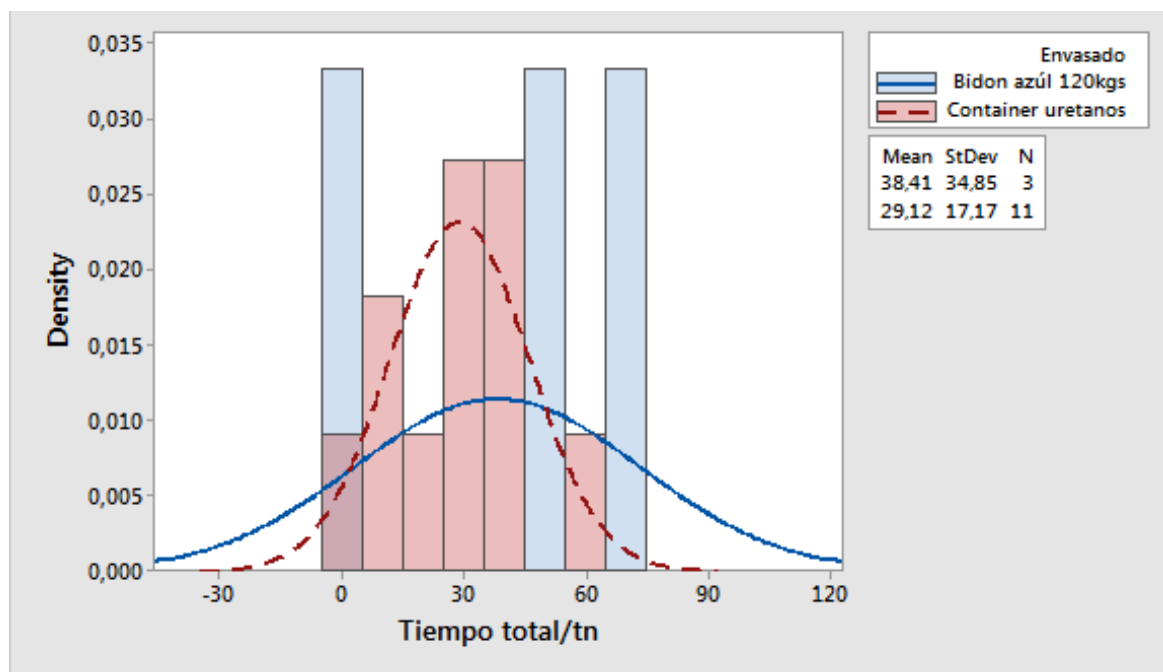


Ilustración 7.5. Histograma del tiempo total de envasado entre las toneladas de Resina A filtrada diferenciando los envases: Bidón o IBCs.

Sin embargo, si se realiza la hipótesis de que la media del envasado y del filtrado son iguales y se calcula el p-valor, nos da un valor de 0,154, que es mayor a la alpha (0,05). Así pues, no se puede afirmar que existan diferencias entre el envasado y el filtrado.

Aun habiendo confirmado que no hay diferencia entre las medias de tiempo, el hecho de que esta resina presenta una alta variabilidad se atribuye a que se filtra a tanque y se envasa por igual ya que son dos técnicas diferentes y crean dos poblaciones de datos diferentes. A la hora de realizar las pruebas en la etapa Mejorar, este hecho se tendrá en cuenta.

7.3.4. La resina D se filtra más rápidamente mediante los equipos Futurix

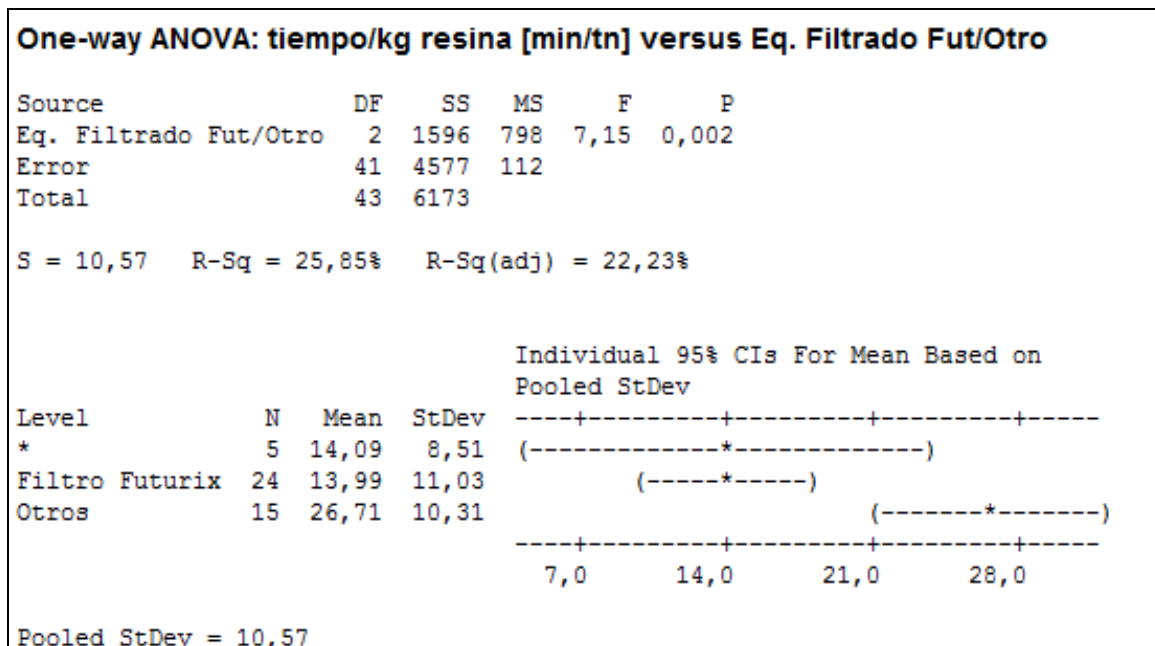


Ilustración 7.6. Estudio One-Way de la Resina D donde la hipótesis inicial es que son diferentes y la alternativa que son iguales. El p-valor es inferior a la α , por lo tanto la primera hipótesis se cumple.

Realizando un estudio ANOVA con la hipótesis de que las dos medias son iguales y con una α de 0,05; se obtiene un p-valor de $0,002 < 0,05$. Así pues, se puede afirmar que las medias del tiempo de filtrado de Futurix comparado con otros equipos son diferentes para la resina D.

Dado el hecho de que el sistema de filtrado Futurix es un equipo no usado frecuentemente, no se ha podido realizar el mismo estudio para las demás resina. Aun así, si para la resina D se ha podido llegar a afirmar que es más rápido este equipo, se puede intuir que para las demás resinas, que también son de la misma familia (emulsionantes) y que presentan características similares, se puede llegar en un futuro a diferenciarse las medias entre los diferentes equipos.

7.3.5. Diagrama causa-efecto: No se usa Futurix regularmente

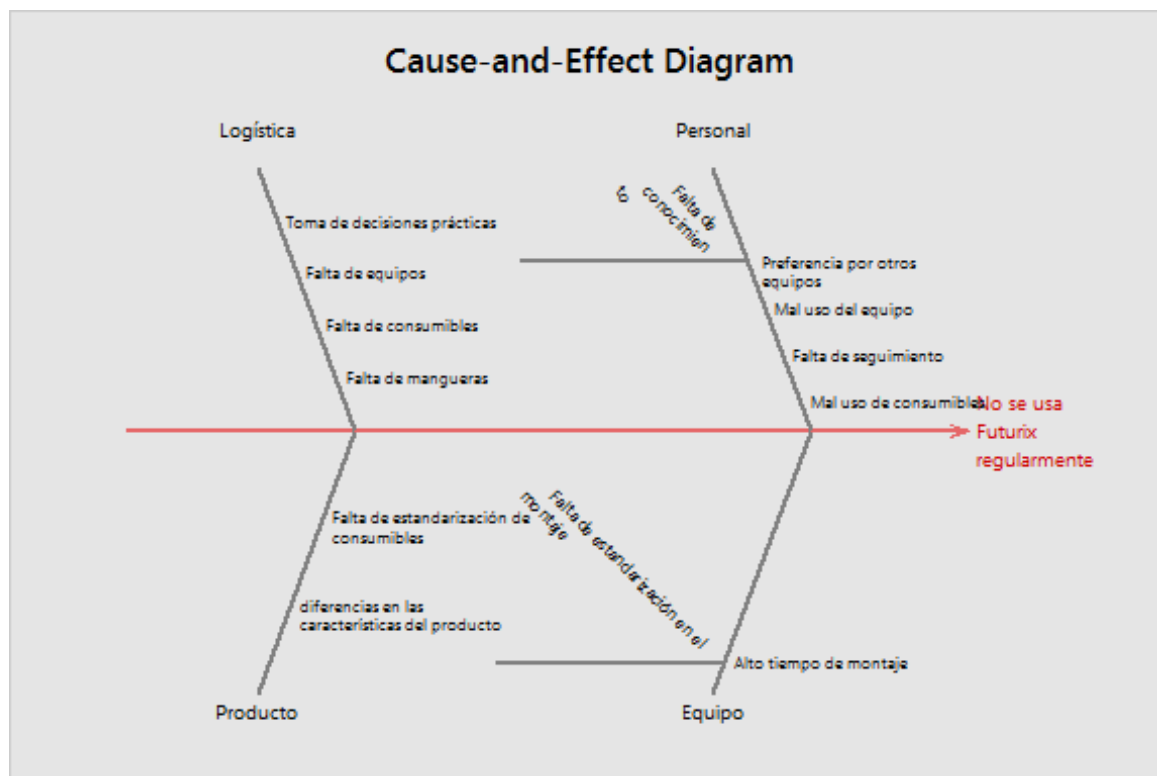


Ilustración 7.7. Diagrama Causa-Efecto del por qué no se usa Futurix regularmente.

En el diagrama de las causas raíces del por qué no se usa Futurix regularmente, se destaca en la rama de logística la posible causa de que ante decisiones rápidas se escoge antes un equipo móvil por su flexibilidad, su fácil manejo y uso.

Otro hecho es que si se escoge un micraje de mallas que para las características que muestra la resina no es el adecuado, la filtración irá más lenta y requerirá más cambios de consumibles. Este hecho se multiplica con Futurix puesto que se usan 6 mallas a la vez, y la apertura para cambiar estos consumibles es costoso tanto en tiempo como en dinero, además de que la realización del *by-pass* dura más o menos 15 minutos. Los envasadores son conscientes de esto y ante resinas que pueden presentar estos problemas deciden no usar Futurix.

Así pues, si se estandariza el juego de consumibles para las resinas estudiadas optimizando los tiempos y se facilita el uso del equipo, se podría mejorar la concepción de este equipo y su uso sería mayor.

7.3.6. Los tanques origen afectan a la variabilidad de los tiempos de filtrado

Se efectúa un *Individual Value Plot* del tiempo real entre las toneladas filtradas diferenciando los diferentes equipos de filtrado: Envasadora de acrílicas, equipo móvil nº1, filtro Futurix. Solo hay tres de seis equipos, porque en emulsiones solo se usan estos.

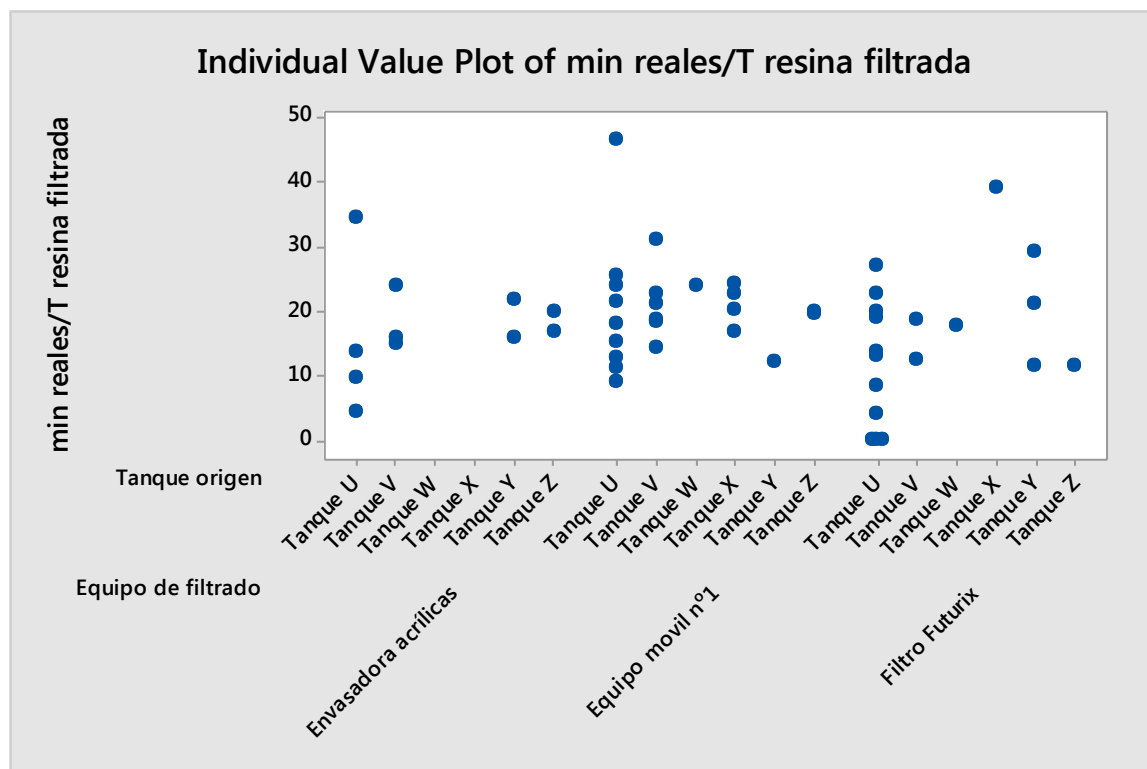


Ilustración 7.8. Individual Value Plot del tiempo real entre cantidad de resina filtrada diferenciando tanques origen y equipos de filtrado.

Los equipos móviles al ser móviles y no depender de las líneas de transferencia, sufren menos pérdidas de carga y muestran una dispersión menor, menos para el tanque U. Para Futurix, el que mayor dispersión muestra es el tanque U.

Las líneas de transferencia del tanque U son las más largas y las que dan más vueltas para filtrar en Futurix; en cambio, la envasadora está cerca, es por eso que es posible que la variación sea menor. También hay que destacar que la bomba juega un papel muy importante, ya que si es muy antigua el producto tardará más.

Los tanques W, V y Z tienen poca dispersión porque se pueden presurizar. También recordar que hay otros factores que afectan como la cantidad de baños afecta ya que hay más peso, que implica más presión, el tiempo de agitación del tanque o los posibles taponamientos de las líneas.

Para reducir posibles pérdidas de carga en las líneas, se podría plantear adjudicar tanques a cada sistema de filtrado (carro móvil, Futurix, envasadora) y realizar pruebas para ver de qué manera afecta este fenómeno a los tiempos y a la variabilidad del filtrado. Incluso, se podría potenciar el filtrado por Futurix para los productos cercanos a los tanques X, Y y Z, ya que son los más cercanos a esta instalación.

7.3.7. Existen diferencias tanto en la media como en la variabilidad entre los envasadores.

Para comprobar si el envasador afecta o no, se diferencian las diferentes resinas a filtrar ya que algunas son más ágiles que otras, o sea, que requieren menos cambios de consumibles o un juego de consumibles más intuitivo. Para estudiar las diferencias se utilizan Individual *value plots* y el tiempo total, o sea, con las demoras contabilizadas, ya que en muchos casos éstas aparecen por acción del envasador.

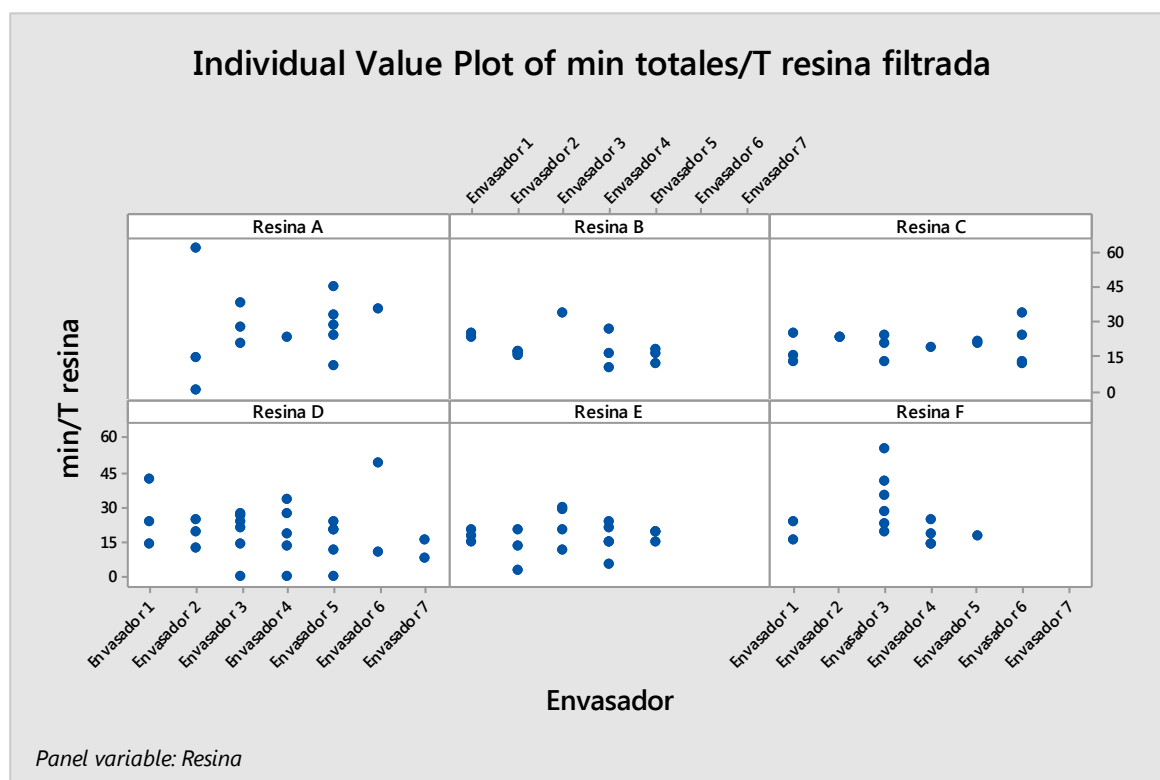


Ilustración 7.9. Individual Value Plot del tiempo total entre cantidad de resina filtrada diferenciando resinas y envasadores.

Resina A: El envasador 2 muestra mucha variabilidad en comparación con los demás.

Resina B: se observa que el envasador 1 y el 2 son los más exactos, en cambio el 3 se

desmarca en tiempos muchos más altos.

Resina C: El envasador 1 tiene mejores tiempos, el 5 presenta mejor desviación estándar, en cambio el envasador 6 es poco preciso.

Resina D: El envasador 2 y el 7 son precisos, 4 y 6 lo son poco. Respecto a las medias, se observan pocas diferencias.

Resina E: Los envasadores 3 obtiene tiempos más altos, el envasador 1 se presenta como el más preciso.

Resina F: se obtienen unas medias más o menos similares, sin embargo el envasador el 3 presentan una desviación estándar más alta que los otros.

Podemos observar que tanto las medias como las variabilidades de los envasadores son diferentes para cada resina y que los criterios utilizados por cada uno a la hora de hacer el proceso se ven reflejados tanto en el tiempo que utilizan para filtrar y envasar una resina como lo rigurosos que son a la hora de hacerlo.

Uno de los mejores métodos para corregir desviaciones a causa de las divergencias entre comportamientos de los envasadores, sería la de estandarizar el proceso generando un manual de procedimiento robusto y al alcance de todos los usuarios.

7.3.8. El montaje de equipos, los cambios y la limpieza se consideran demoras.

A la hora de indagar sobre el por qué se consideran demoras, se ha decidido hacer un historial sobre el filtrado de la resina D del día 10-10-2015, des de que el técnico de turno ordena su filtrado hasta la limpieza finalizada. El filtrado fue del tanque W al X, el primero situado lejos del sistema Futurix y el segundo cercano:

- 09:30h : OK del técnico de turno para filtrar la resina
- 11:00h: Empieza el montaje. → 90 minutos de tiempo muerto.
 - 1 persona montando el equipo.
 - Montaje de mangueras: del tanque origen a la línea, de la línea al carro de prefiltrado, del carro al primer equipo Futurix, del primer equipo a la bomba, de la bomba al tanque destino (5 Mangueras). → 25 minutos.

- o Montaje de las mallas: 1 solo equipo. Colocar las mallas (las tapas se dejan siempre abiertas), cerrar la tapa, enroscar manualmente los tornillos, ajustarlos con la herramienta habilitada. → 7,5 minutos
- o Se monta el segundo equipo: no se debería haber montado hasta que no pasase líquido por el primer equipo. → 7,5 minutos
- o Movimientos internos: Búsqueda de mallas y carro del prefiltrado → 10 minutos
- 11:50h: Finaliza el montaje. Falta la llave del candado de la válvula del tanque destino. Se va a buscar a almacén. → 35 min⁵
- 12:25h: empieza a circular resina por el primer equipo.
- 14:30h: mallas del 1º equipo saturadas. Se requiere hacer *by-pass*. → 125 min de filtrado
 - o El envasador tarda en darse cuenta de que es necesario realizar el cambio: → 5 min
 - o Se para el proceso y se realiza el cambio de mangueras. → 10 min
- 14:45h: Empieza a circular resina por el segundo equipo.
- 17:30h: Finalización de la resina. → 165 min de filtrado
- 17:35h: Retirada de las mallas saturadas del segundo equipos y comienzo de la limpieza de los equipos.
- 18:45h: Finalización de la limpieza. (demora por cambio de turno a las 18:00h) → 70 min

Observaciones:

- 555 minutos de historial, desde que el técnico de turno da la aprobación hasta que se finaliza la limpieza.
- 90 minutos de tiempo muerto entre que el técnico de turno da su aprobación para filtrar la resina y se empieza a preparar el montaje. Esto sucede porque no era un filtrado prioritario y porque el almuerzo empieza a las 10 de la mañana, así que los envasadores han esperado hasta las 11 para montarlo.
- 50 minutos de montaje del equipo, de los cuales 25 minutos son debidos a montaje de mangueras y 7,5 minutos son debidos al montaje innecesario del segundo

⁵ Por temas de seguridad se bloquea la válvulas de los tanques con candado. Las llaves las custodian almacén en este caso ya que es producto acabado y producción. La llave que poseía producción no se encontró, por eso se tuvo que ir a almacén.

equipo de Futurix, cuando lo mejor para reducir tiempos de montaje sería montar el segundo equipo mientras ya está pasando producto por el otro. Al montarse los dos equipos se ha tardado 15 minutos.

- 35 min de demoras porque no se disponía de la llave del candado que bloquea la válvula del tanque. Se tardó este tiempo en ir a buscarla a almacén, encontrar la persona que la tenía y abrir el tanque.
- 5 minutos de demora para la realización del by-pass. Cabe decir que se entiende esta demora porque el envasador realiza otras tareas mientras se filtra el producto.
- 15 minutos para realizar el by-pass.
- 70 minutos de limpieza de los dos equipos con demora de 20 minutos por cambio de turno.
- Minutos totales: 390 min para filtrar 19750kg → 19.74 min/T

El tiempo está contado desde que se empieza a montar el equipo hasta que se finaliza la resina porque los envasadores no cuentan las limpiezas en los tiempos.

- Minutos reales (demoras no contabilizadas): 350 min → 17.72 min/T

Comparando con las medias que conocemos de la resina D (gráfico x):

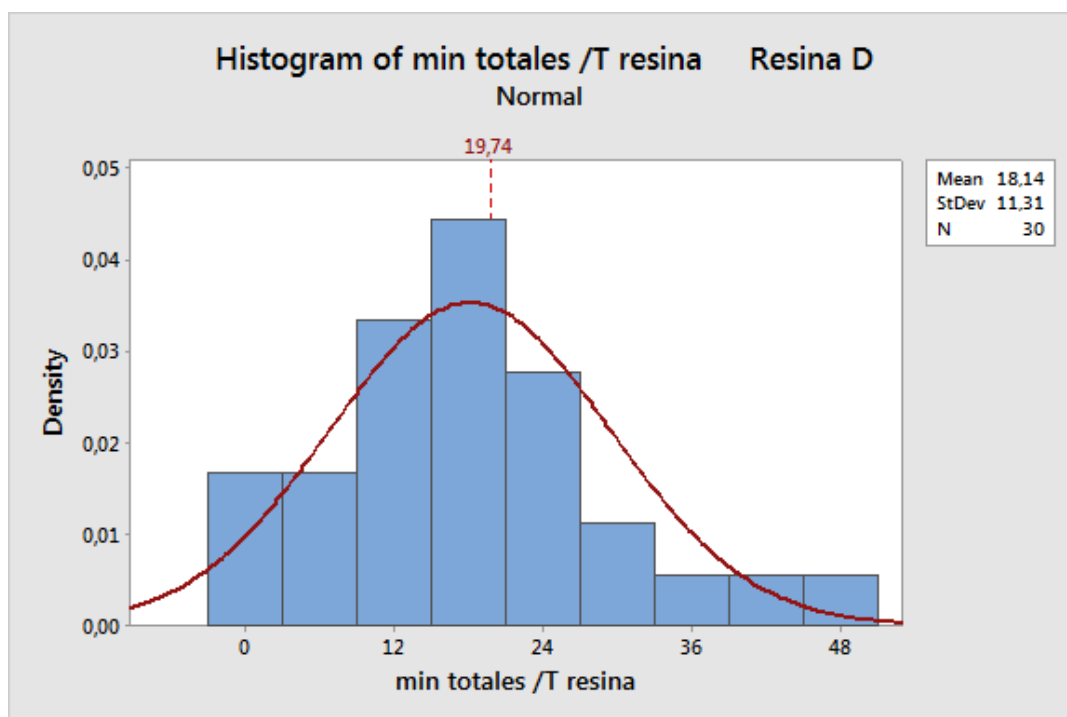


Ilustración 7.10. Comparación del filtrado del 10/10/2015 con el histograma del tiempo total entre cantidad filtrada de la Resina D.

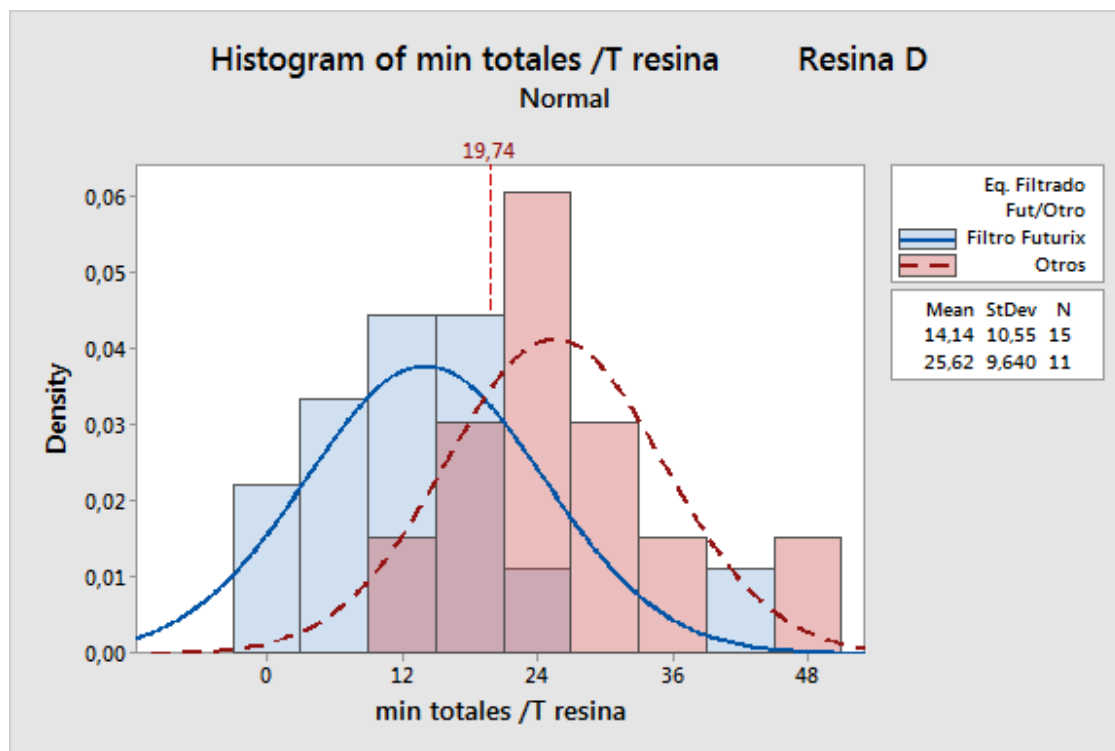


Ilustración 7.11. Comparación del filtrado del 10/10/2015 con el histograma del tiempo total entre cantidad filtrada de la Resina D diferenciando los equipos de filtrado.

Con las demoras contabilizadas, el primero es con todos los sistemas de filtrado, o sea, con la media de todos los filtrados de la resina D y el tercero es con el histograma diferenciando la instalación Futurix con otros.

En el primero se puede observar que es un filtrado muy parecido a los demás aun teniendo 40 minutos de demoras, y en el segundo se puede ver que no ha sido el mejor filtrado por Futurix, sin embargo la media es menor a la de los otros equipos, aunque no podemos afirmarlo.

Para saber qué margen de mejora se tiene a la hora de montar equipos, podemos realizar los siguientes cálculos:

- Montaje real: 50 min totales – 10 min movimientos internos = 40 minutos de montaje real para los dos equipos.
- 40 min – 7,5 min por montaje innecesario del 2º equipo = 32,5 min

El montaje debería haber tardado entre 30 y 35 minutos, dependiendo de la experiencia y habilidad del envasador.

Si se quiere reducir a 20 minutos el montaje de los equipos Futurix, hay que tomar medidas en lo que respecta a la instalación de los equipos ya que solo reduciendo los procedimientos no se llega a conseguir el valor esperado.

7.3.9. La problemática de la estandarización de mallas.

En la etapa Medir se observó que las combinaciones de mallas y cartuchos para cada producto, aunque estén estandarizados y se indique claramente en la hoja de envasado qué tipo de consumible se debe utilizar como un requisito a seguir, en la realidad los trabajadores escogen la combinación en función de la experiencia debido a que las pruebas que se realizaron son de hace más de cinco años y los productos en este largo periodo de tiempo han podido sufrir pequeñas variaciones debidas a cambios en la fórmula o en la materia prima.

El hecho de no estandarizarse hace que se aumente tanto la variación como la media de los tiempos de filtrado y hace que no sea un proceso robusto, donde las equivocaciones y los retrasos son fáciles de provocar.

7.4. Análisis de Gaps, los 5 ¿Por qué? y clasificación de posibles mejoras

Una vez el *Black Belt* ha obtenido una visión profunda de las relaciones entre las X's y las Y's, se necesita obtener el punto de vista por parte de los trabajadores que diariamente se encuentran en campo. Es por eso que en este proyecto se ha aplicado una serie de actividades *Lean* para identificar esos *Gaps* que presenta el proceso, junto con posibles soluciones.

Para ello, se ha hablado con los envasadores para que aportaran los *gaps* que ellos perciben. La actividad está centrada en todo el proceso de filtrado y envasado, pero se hace mayor hincapié en el sistema Futurix.

Primero se empieza con un Análisi de *gaps*, luego se sigue con los cinco ¿Por qué? y finalmente se realiza el *Pick-Chart*. Las siguientes actividades se realizan en paralelo al proyecto, por eso hay problemas y posibles soluciones que ya han salido anteriormente en este trabajo.

7.4.1. 7.4.1 Análisis de Gaps

En el análisis de *Gaps* el *Black Belt* explica la situación inicial al equipo que buscará los *Gaps*, en este caso los envasadores, para que mientras se realiza la explicación, éstos

apunten en *post-its* cada *gap* que identifican en el proceso y lo peguen en un muro. Para hacerlo más visual suele hacerse un dibujo de la planta o del equipo en este muro. También suele realizarse un *genba*⁶ para completar y profundizar la explicación.

En el caso de este proyecto, se observaron hasta 46 *gaps* diferentes, cada uno en un *post-it* diferente. Una vez contemplados todos los *gaps*, éstos se clasifican por categorías para observar si hay repetidos o similares. Concretamente en 7 categorías: Tiempos de filtrado; variabilidad de los tiempos de filtrado; SHE (departamento de seguridad); consumibles; equipos y mangueras; demoras; otros y Futurix, del cual se dividió en dos subcategorías: Equipo y procedimiento.

Para la categoría de Futurix, se realizan las subcategorías para diferenciar los problemas que son fruto del funcionamiento físico del filtro, y de los que son fruto por el mal uso de este, o sea, por el factor humano.

7.4.2. Los cinco ¿Por qué?

Una vez clasificados y filtrado los diferentes *gaps* observados, se puede seguir con el análisis de los cinco ¿Por qué?. Este análisis se basa en hacerse preguntas sobre el por qué se dan los diferentes *gaps*, y qué soluciones pueden implementarse para reducirlos o eliminarlos.

Es un análisis bastante exhaustivo donde lo más importante ha sido:

⁶ Palabra japonesa que significa “en el sitio de la acción”. Es pasearse por la zona donde se generan los diferentes *gaps* para poder visualizarlos físicamente.

Gap	Clasificación del Gap	Posible solución	Observación
<p>El hecho de no filtrar algunos productos, repercute en demoras para almacén</p> <p>+</p> <p>La logística de tanques de planta es complicada</p>	Tiempos de filtrado	Potenciar un sistema de filtrado y envasado más rápido	Se han sumado dos gaps para una misma solución, la cual es el hecho de potenciar sistemas más rápidos que permitan mejorar la logística de los tanques de planta. Se ha pensado directamente en potenciar Futurix, ya que es un equipo que podría presentar mejores tiempos si se estandarizase como es debido.
La resina F presenta muchas demoras	Demoras	Aumentar la concienciación de los operarios ante las demoras	Mediante una formación o un flyer informativo se puede recordar la importancia de reducir lo máximo posible las demoras que se ocasionan.
Priorización de tareas: es la demora más común	Demoras	Cambios de consumibles más ágiles y potenciar procesos que no requieran un alto seguimiento del envasador	Si se logra encontrar la combinación idónea de consumibles se puede llegar a conseguir minimizar el número de cambios, por lo tanto, reducir esta demora.

Gap	Clasificación del Gap	Posible solución	Observación
El montaje se considera demora	Demoras	Estandarizar el proceso + Hacer formación	Para llegar a unificar criterios y determinar cómo se debe realizar la metodología, hace falta estandarizar el proceso y realizar una formación para informar a todos los usuarios.
Mal montaje de Futurix	Futurix: Procedimiento		
Criterios de uso de los envasadores diferentes	Variabilidad de los tiempos de filtrado		
Hojas de envasado y filtrado mal cumplimentadas + No existe un sistema para controlar si el proceso se está realizando bien o mal	Otros	Establecer un sistema para controlar el proceso.	En este caso, se han juntado dos <i>gaps</i> para una misma solución, ya que el hecho de que las hojas están mal cumplimentadas es porque no se les da importancia ya que los datos no se manipulan después en ninguna base de datos. Así pues, si éstas se utilizaran en un sistema de control, la percepción variaría y se tomaría más consciencia. Hay que puntualizar que esta solución se contempla en la metodología Lean Six Sigma dentro de la etapa Controlar.

Gap	Clasificación del Gap	Posible solución	Observación
Consumición de muchos cartuchos + La malla del prefiltrado se determina por la experiencia	Consumibles, equipos y mangueras	Estandarizar el uso de mallas para cada resina.	Para ello se deberán realizar diferentes pruebas para determinar qué juegos de mallas son los mejores.
Movimientos internos	Variabilidad de los tiempos de filtrado	Instalar una estantería con los consumibles usales en Futurix al lado de los equipos.	La estantería con los consumibles se encuentran lejos de este equipo. Si se dispusiera de un lugar cercano donde colocar los que se usan para Futurix y además se hiciera un <i>Kanban</i> ⁷ para asegurarse que siempre se dispone de consumibles, se reducirían los movimientos internos
		Establecer un sistema de prefiltrado al lado de Futurix	Establecer el sitio fijo para el carro de prefiltrado: eso significa que en cuanto se tenga que usar para otro fin, el operario se lo llevará donde se requiera, pero una vez finalizado volverá a colocarlo al lado de Futurix.

⁷ Es un sistema de información que controla la cantidad de material necesario para la realización de un proceso en el tiempo requerido.

Gap	Clasificación del Gap	Posible solución	Observación
Movimientos internos	Variabilidad de los tiempos de filtrado	Establecer mangueras específicas para Futurix	Colocando las mangueras necesarias siempre al lado del equipo se reducirá el tiempo de ir a buscarlas y además, se asegurará de que habrá cuando se requieran.
Algunos tanques tardan más que otros al trasladar el producto	Variabilidad de los tiempos de filtrado	Establecer equipos a cada tanque	Como se ha observado antes, algunos equipos van mejor para algunos tanques que otros. Se podría establecer cuáles son.
Mucho tiempo de montaje + Preferencia por otros equipos + El líquido rebosa al abrir las tapas de Futurix con las mallas saturadas	Futurix: Equipo	Instalar una línea con válvulas para hacer el by-pass y eliminar las mangueras	Es un proyecto fácil que podría permitir disminuir la realización del by-pass en 10 minutos.
		Instalar un sistema de apertura de las tapas más rápido	Es un proyecto difícil dado el hecho que son equipos a presión y requieren de una normativa más exigente.
		Corregir la presión del agua de la línea para reducir los tiempos de limpieza	La presión del agua no es suficientemente alta como para lavar el equipo con facilidad, es por eso que las limpiezas son tan largas.

Gap	Clasificación del Gap	Posible solución	Observación
Mucho tiempo de montaje + Preferencia por otros equipos + El líquido rebosa al abrir las tapas de Futurix con las mallas saturadas	Futurix: Equipo	Establecer una metodología adecuada para inhibir pequeños derrames ocasionados.	La forma en la que están hechos los dos equipos hace que cuando se abra rebose todo el producto que no ha podido pasar por las mallas. Esto provoca pequeños derrames.

Tabla 7.2. Resumen de los gaps más importantes vistos en el análisis de gaps junto con su clasificación y posible solución extraída de los cinco ¿Por qué?.

7.4.3. Pick Chart

En la dinámica anterior, cada solución se escribe en un *post-it* diferente. Estos *post-its* se usarán para cumplimentar el gráfico *Pick Chart*, una herramienta para clasificar posibles soluciones según el beneficio futuro que podrían generar tanto monetariamente como a lo que se refiere en horas de los trabajadores ahorradas junto con la facilidad de implementación de éstas.

Cada cuadrante corresponde a una categoría. Las soluciones que aportan mucho beneficio y que además son fáciles de realizar son las correspondientes a la categoría “implementar”, en cambio las que son de difícil implementación pero aportan mucho beneficio son las “reto”. La diferencia es que las de “implementar” se realizarán de una forma rápida y se obtendrán conclusiones más rápidamente, en cambio, las “reto” suelen corresponder a proyectos que requieren una búsqueda exhaustiva de documentación, una aprobación por parte del gestor o incluso se necesita generar cálculos y estudios estadísticos.

Las categoría que tienen poco beneficio pero que es de fácil realización corresponde a “posibles”. Se pueden hacer ya que son fáciles pero no son primordiales. En cambio, las que además de no aportar suficiente beneficio son también difíciles de aplicar porque requieren una gran interacción entre departamentos, un estudio exhaustivo, etc. Pertenecen a la categoría “Kill”. Esto significa que no se realizarán ya que no aportan suficiente valor.

Cabe destacar que el *Pick Chart* es una herramienta para tener una primera idea de cómo son las posibles soluciones que se pueden aplicar. Después, hace falta matizar cuáles se implementarán y cuáles no porque están fuera de alcance del proyecto, porque ya están contempladas dentro del mismo o porque simplemente, no vale la pena realizar siguiendo una matriz de priorización.

La gráfica siguiente expresa los diferentes cuadrantes y qué soluciones corresponden a cada cual:

En la siguiente etapa, Mejorar, se determinará cuáles de estas soluciones se llevarán a cabo y cuáles no.

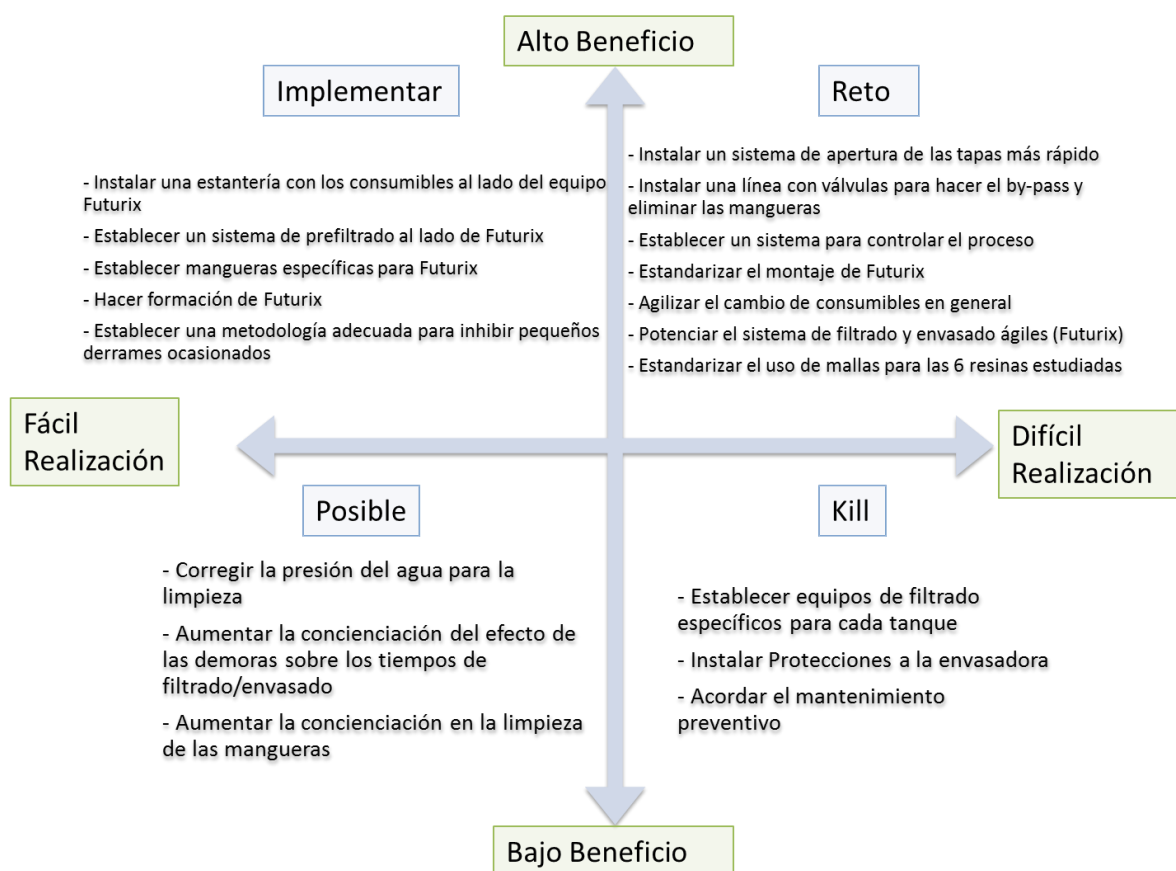


Ilustración 7.12 Pick-Chart de las soluciones extraídas de los cinco ¿Por qué? y clasificadas según el beneficio que podrían aportar y la facilidad de implementación.

8. Mejorar

Esta etapa se encarga de seleccionar y probar las soluciones que en el apartado Analizar se han observado para planificar su implementación en el caso que sean útiles, asignar los responsables que llevarán a cabo las pruebas y empezar a estandarizar el proceso.

En esta etapa un papel clave es la del *Champion*, que autorizará y aportará los medios para que las mejoras se lleven a cabo.

Se seguirá el siguiente esquema:



Ilustración 8.1. Esquema de los pasos que se seguirán en la etapa Mejorar.

8.1. Selección de mejoras

Aunque en el apartado Analizar ya se han clasificado las mejoras según el beneficio que podrían aportar y la facilidad de implementación mediante *Pick Chart*, una buena selección de mejoras requiere un análisis más profundo. En este análisis se busca eliminar esas mejoras que o ya están introducidas indirectamente dentro del proyecto, como la de estandarizar el proceso, o diseñar un sistema de control, o no se requiere que se hagan porque están fuera de alcance.

Siguiendo un modelo de puntuaciones donde se ha tenido en cuenta el beneficio aportado tanto en dinero como en horas ahorradas o también por simplificación del proceso. La facilidad de implementación, que se refiere a la interacción entre los departamentos, cálculos que se deben realizar, estudios, búsqueda de datos y desarrollo de procesos administrativos. Y por último el tiempo que se tardaría en implementar la mejora desde que

se empieza a trabajar. Siguiendo los siguientes puntos:

- Ponderación: 40% Beneficio, 40% Facilidad y 20% Tiempo de implementación.
- Beneficio: 10 = Beneficio muy alto (+1000€ o +100 h/año)
5 = Beneficio aceptable (500 € o 50 h/año)
0 = No hay beneficio (0 € o 0h/año)
- Facilidad: 10 = Fácil de desarrollar (-5h en finalizar)
5 = Desarrollo normal (15 h)
0 = Difícil de desarrollar (+30 h)
- Tiempo de implementación: 10 = Inmediato (-1 día).
5 = Normal (6 semanas)
0 = Largo plazo (12 semanas)

Se ha obtenido la siguiente tabla.

Soluciones	Beneficio	Facilidad	Tiempo	Total	Observación	Se realizará?
Instalar una estantería con los consumibles al lado del equipo Futurix	6	10	6	7,6	B: posible reducción de 60 horas anuales. F: -5h de búsqueda en el catálogo y realización del pedido. T: tiempos de entrega de 1 mes	Sí
Establecer un sistema de prefiltrado al lado de Futurix	9	10	10	9,6	B: posible reducción de 90 horas anuales. F: -5h para discutirlo con el jefe de producción T: - 1 día para fijar la localización del carro	Sí
Establecer mangueras específicas para Futurix	8	7	10	8	B: 80 horas anuales F: 9 horas para acordar qué mangueras fijar T: -1 día para implementarlo.	Sí

Hacer formación de Futurix	8	8	6	7,6	<p>B: beneficio alto en el funcionamiento del proceso</p> <p>F: 6 horas de preparación de la sesión informativa.</p> <p>T: 1 mes debido a los turnos.</p>	Sí
Establecer una metodología adecuada para inhibir pequeños derrames ocasionados.	10	5	9	7,8	<p>B: 1000€ ahorrados debido a minimización de derrames, disminución de impacto ambiental.</p> <p>F: 15 horas de estudio.</p> <p>T: 1 semana de implementación.</p>	Sí
Instalar un sistema de apertura de las tapas más rápido	10	3	0	5,2	<p>B: + 1000€ ahorrados</p> <p>F: 21 horas.</p> <p>T: + 3 meses de implementación debido a certificación de aparato a presión.</p>	Sí
Instalar una línea con válvulas para hacer el by-pass y eliminar las mangueras	10	4	6	6,8	<p>B: + 1000€ ahorrados</p> <p>F: 18 horas.</p> <p>T: 1 mes</p>	Sí
Establecer un sistema para controlar el proceso	8	4	8	6,4	<p>B: beneficio alto en el funcionamiento del proceso</p> <p>F: 18 horas de diseño.</p> <p>T: medio mes en implementarse debidamente</p>	No (Incluido en el proyecto, en la etapa Controlar)
Estandarizar el montaje de Futurix	10	0	0	4	<p>B: +100 horas anuales reducidas de mov. Int. y tiempos de filtrado.</p> <p>F: +30 horas de desarrollo</p> <p>T: + 3 meses de implementación</p>	No (Incluido en el proyecto como objetivo principal)

Agilizar el cambio de consumibles en general	7	0	0	2,8	B: 70 horas F: + 30 horas T: + 3 meses	No (Fuera de alcance. Solo se trata a 6 resinas)
Potenciar el sistema de filtrado y envasado ágiles (Futurix)	7	0	0	2,8	B: 70 horas F: + 30 horas T: + 3 meses	No (Incluido en el proyecto como objetivo principal)
Estandarizar el uso de mallas para las 6 resinas	10	5	5	7	B: +1000€ ahorrados. F: 15 horas analizando pruebas. T: 1,5 meses	Sí
Corregir la presión del agua para la limpieza	4	9	10	7,2	B: 40 horas F: 3 horas T: -1 día	Sí
Aumentar la concienciación del efecto de las demoras sobre los tiempos de filtrado/envasado	4	10	5	6,6	B: 40 horas F: - 5 horas T: 1.5 meses por turnos de producción.	Sí
Aumentar la concienciación en la limpieza de las mangueras	2	10	10	5,8	B: Beneficios relacionados con Seguridad e impacto ambiental. F: - 5 horas T: 1.5 meses por turnos de producción.	Se incluye dentro de la formación. (Punto 8.2.4.3)
Establecer equipos de filtrado específicos para cada tanque	4	4	3	3,8	B: 40 horas F: 18 horas T: 9 semanas	No (Fuera de alcance. Pertenece a logística.)

Instalar Protecciones a la envasadora	3	2	2	2,4	B: Poco beneficio porque ya hay. Poco margen de mejora. F: 24 horas T:10 semanas	No (Fuera de alcance. Pertenece a mantenimiento)
Acordar el mantenimiento preventivo	1	1	8	2,4	B: Poco beneficio porque ya se hace. Poco margen de mejora. F: 27 horas T:2 semanas	

Tabla 8.1. Plantilla de selección de mejoras mediante nota, justificación y indicación de si se acepta o no.

Una vez hecha la selección, la lista de mejoras con la que se trabajará se agrupa por ámbitos y se ordena de mayor a menor puntuación priorizando así tareas.

Seguidamente se muestra la lista junto con la referencia donde se puede encontrar el desarrollo de la mejora.

Ámbito	Mejora	Nota	Referencia
Reducción de movimientos internos	Establecer un sistema de prefiltrado al lado de Futurix.	9,6	8.2.1.1
	Establecer mangueras específicas para Futurix.	8	8.2.1.2
	Instalar una estantería con los consumibles al lado del equipo Futurix.	7,6	8.2.1.3
Mejora de la instalación de Futurix	Establecer una metodología adecuada para inhibir pequeños derrames ocasionados.	7,8	8.2.2.1
	Corregir la presión del agua para la limpieza.	7,2	8.2.2.2
	Instalar una línea con válvulas para hacer el by-pass y eliminar las mangueras.	6,8	8.2.2.3
	Instalar un sistema de apertura de las tapas más rápido.	5,2	8.2.2.4
Estandarizar el uso de mallas para cada resina.		7	8.2.3

Tabla 8.2. Resumen de las mejoras que se implementarán ordenadas por ámbito y priorizadas por nota obtenida a través de la plantilla de selección. Se adjunta la referencia del apartado pertinente.

8.2. Pruebas y desarrollo de mejoras

Para exponer las diferentes pruebas, cómo se han desarrollado y discutido su beneficio aportado al sistema, se han clasificado según qué parte afectan más en el proceso: movimientos internos, instalación Futurix, estandarización de mallas y estandarización del proceso de filtrado por Futurix.

8.2.1. Reducción de movimientos internos

Como se ha comentado anteriormente, la existencia de movimientos internos provoca un aumento considerable en los tiempos requeridos para montar la instalación Futurix. Este montaje, dependiendo de si este factor es sustancial o no, puede llegar a variar entre 20 minutos o una hora.

8.2.1.1 Establecer un sistema de prefiltrado

Uno de los recursos es establecer un carro móvil para usar siempre en Futurix, y que su lugar de almacenaje sea muy cercano al equipo. Estos carros suelen ser muy solicitados en planta, por lo tanto, para no entorpecer la operatividad de la planta, si el operario necesita utilizar ese carro móvil lo cogerá pero una vez finalizado su uso lo devolverá al puesto determinado cercano a Futurix.

Después de 3 meses de pruebas, se ha observado una reducción de 5 minutos en lo que se refiere a tiempos de montaje, sin contar que las mangueras que se usan para este prefiltrado también están incluidas en el mismo carro, así pues indirectamente se reduce entre 2 y 3 minutos el movimiento de ir a buscar las mangueras, que implica una mejora del 14-16%.

8.2.1.2 Establecer mangueras específicas para Futurix

Igual que en el caso del carro de prefiltrado, el movimiento que genera la búsqueda de las mangueras adecuadas, genera una gran demora a la hora de preparar la instalación, ya que se encuentran repartidas en varios puntos de la fábrica lejanos a la instalación.

Como las conexiones de entrada y salida suelen ser siempre las mismas, podría ser viable determinar un juego de mangueras propias para Futurix, previamente marcadas especificando su uso. Para ello se debe instalar unos soportes, fáciles de colocar para poder poner las mangueras de forma óptima: aguantadas del centro inclinadas hacia abajo

para que caiga el líquido que hay en el interior, o sea, en forma de U inversa.

Después de instaurar el sistema anterior, se ha podido observar a lo largo de las pruebas una reducción de entre 5 y 7 minutos de movimientos internos por búsqueda de mangueras, lo que supone una mejora de entre 15%-20%

8.2.1.3 Instalar una estantería con los consumibles al lado del equipo Futurix

Por último, se han observado grandes desplazamientos por parte de los operarios para ir a buscar los consumibles. Aunque la estantería de las mallas y los cartuchos es cercano, las nuevas mallas al no estar estandarizadas aun no tienen una ubicación determinada, por lo tanto están colocadas en la misma estantería pero sin tag que permita controlar el stock existencial.

Es por eso que el reponedor no las repone, y se tienen que pedir mediante pedido. Los pedidos que llegan se envían a un almacén situado en el exterior de la planta. El hecho de ir a buscar las mallas dentro de fábrica y encontrar que no hay, ir al almacén, buscar entre todas las cajas, coger la caja y transportarla a la planta, genera un movimiento interno innecesario y sin valor añadido fácilmente solucionable con un *Kanban*.

El *Kanban* consiste en que en el momento en que se llegue al mínimo de stock, se coloca una tarjeta para indicarlo y además se comunica al encargado de pedir las mallas para que empiece a movilizar el pedido y así eliminar el movimiento del operario de la planta al almacén. La tarjeta que se coloca será para que todos los operarios vean que el stock está próximo a acabarse y que en caso de tener tiempo pueden ir a almacén para reponerlo.

Después de buscar un hueco donde colocar la estantería, y de buscar una que encajara y realizar el pedido, se instala y se realiza el *kanban*.

En este caso, no se percibe reducción ni en los tiempos de montaje ni en los movimientos internos, pero sí se puede eliminar posibles demoras por falta de consumibles, que en este caso solía pasar a menudo, una vez cada ocho.

8.2.2. Mejora de la instalación Futurix

La instalación Futurix presenta muchos puntos a mejorar des del punto de vista ergonómico. El hecho de que esté pensado para utilizarse en serie y no en *by-pass*, hace que se tengan que instalar unas mangueras que no estaban contempladas. La apertura también es un tema que se ha intentado solucionar des de que se instaló, facilitándose una herramienta especial tanto para quitar como para apretar los tornillos. Y por último, el hecho de que no haya un margen entre la superficie donde se ponen las mallas y la apertura, hace que el producto que no se ha podido filtrar por la saturación de las mallas

rebose y ensucie los equipos de filtrado, además de provocar pequeños derrames y pérdidas de producto.

8.2.2.1 Establecer una secuencia de válvulas adecuada para que no rebose el producto

La proyección de los equipos Futurix no concibió un margen entre la superficie donde se colocan las mallas, que es plana, y la apertura. Esto genera pequeños derrames cada vez que se abre el filtro provocando pérdidas de producto y ensuciamiento de la instalación.

Los operarios, conscientes de esto, expresaron su mal estar y aportaron la idea de hacer una contención alrededor de los dos equipos que funcionara como embudo para al menos no desperdiciar producto.

Por una parte parece una buena solución, pero por otra, no sigue la filosofía *Lean*, ya que no se arregla el problema sino que se realiza un pequeño parche para minimizar los efectos del problema. El éxito de la implantación de sistemas de mejora radica en la implementación de buenas soluciones fáciles que generen valor añadido y que en un futuro no sean sensibles a volver a ser problemas. Los parches o las soluciones temporales no se conciben en las metodologías *Lean* ni *Six Sigma*. Es por esa razón que se desestima desarrollar esta idea.

Tanto el *Champion* como el *Black Belt* estudian la estructura de la instalación, y se esperan a la instalación de *by-pass* ya explicada en el apartado 8.2.2.1, porque ya se sabía del posible cambio de metodología que conllevaría. El objetivo de la acción es la de que todo ese producto que no se ha filtrado porque no puede pasar por las mallas porque están saturadas, sean transportadas hacia el segundo equipo de filtrado que dispone de mallas limpias. Para ello se dispone de los dos equipos, la línea del colector ya instalada, las válvulas de la instalación que son un total de 10 contando con la del carro de prefiltrado, y la bomba.

La idea es que el líquido salga del equipo saturado por donde ha entrado y sea conducido mediante la bomba o el vacío generado por ella al otro equipo a través de la apertura de válvulas. No es una tarea fácil ya que como en un principio estaba pensado para usarse en serie, la bomba está localizada justo detrás del segundo equipo posibilitando fácilmente hacer vacío en el segundo equipo pero no al primero.

Después de estudiar los diferentes recursos y el procedimiento de filtrado, se observaron dos posibles escenarios:

Escenario 1: By-pass del equipo 1 al 2

Es el escenario más usual ya que el 1 es el equipo más usado. Se debe conseguir que el líquido salga de este equipo y entre en el segundo. Para ello se cierra la válvula del prefiltrado una vez identificado que las mallas están saturadas. Estableciendo una secuencia adecuada de apertura y cierre de válvulas, se debe conseguir generar vacío en el equipo 2 para que cuando se rompa el vacío del equipo 1 abriendo la válvula de escape, genere el movimiento del producto no filtrado del 1 al 2. Una vez realizado esto se abre la válvula del prefiltrado para continuar con normalidad el filtrado. Cuando se abra el equipo saturado, el producto no rebosará.

Se ha hecho la prueba con una producción y se ha observado lo esperado. No hay producto que rebose y no genera ningún problema ni de calidad ni de mal funcionamiento de equipos. Así pues se implementa en el proceso.

Escenario 2: By-pass del equipo 2 al 1

Es el escenario menos común ya que como casi siempre se empieza el sistema de filtrado por el equipo 1, el hecho de realizar el by-pass del 2 al 1 conlleva que se hayan tenido que realizar 2 cambios de consumibles para una misma resina.

Ante este escenario, visto la complicación que aportaba el hecho que no se podía generar vacío fácilmente en el equipo más lejano a la bomba por la disposición de la instalación, se vieron dos posibilidades:

- Plan A: Intentar que no se deba hacer este procedimiento, haciendo que todos los productos que se usen en Futurix se empecen por el equipo 1 y se deban realizar como máximo un cambio de consumibles, o sea, solo generando el by-pass del equipo 1 al 2.

Esto es difícil dado el hecho de que cada resina tiene unas características diferentes, y que incluso entre lotes de la misma resina hay diferencias críticas para el número de cambios de consumibles como la cantidad de sedimentos. Aunque sí que es cierto que si se logra encontrar la combinación de mallas óptima para cada resina sería posible conseguirlo, hay que tener en cuenta siempre habrá excepciones entre resinas, y estas excepciones provocarán desviaciones. Así pues, esta posible solución sería tan solo una minimización, un parche.

- Plan B: Encontrar la secuencia de apertura de válvulas adecuada para que el producto pase del equipo 2 al 1.

Después de estudiar con detenimiento al instalación, se encuentra una posible secuencia donde se deberá parar la bomba, purgar una parte de la línea de producto no filtrado, abrir y cerrar unas válvulas determinadas y arrancar la bomba para así poder generar vacío en el

primer equipo. Así pues, una vez generado el vacío y rompiéndolo en el otro, se consigue pasar el producto no filtrado de un equipo al otro. Una vez conducido el producto ya se puede seguir con el filtrado con normalidad.

Se genera la prueba con resina y se observa que el procedimiento es correcto: no rebosa cuando se abre el equipo saturado, no afecta a los parámetros de calidad y no afecta a la integridad de la instalación. Por lo tanto, se ha conseguido generar una solución al problema y se implementa al procedimiento.

Una vez comprobado que las dos secuencias de válvulas son las correctas y aplicando los conocimientos *Lean* adquiridos, el *Black Belt* considera beneficioso realizar un panel con imágenes y muy esquemático de las operativas de realización del *by-pass* siguiendo las soluciones anteriores, para poder prever posibles confusiones por parte de los operarios ante estos procedimientos, y para que se sepa con claridad e *in situ*, cuál es la forma de realizar el cambio de equipo tanto de 1 a 2 y viceversa para que no exista producto rebosante.

Este panel se coloca al lado de la instalación para que los usuarios afectados puedan obtener la información de forma inmediata.

8.2.2.2 Corregir la presión del agua para la limpieza

Uno de los problemas que los operarios han mostrado es la falta de presión del agua a la hora de limpiar las líneas de la instalación. El cambio de diámetro de la salida de agua a la entrada de los equipos es creciente, así pues la presión disminuye y aumenta los tiempos de limpieza. Esto se puede corregir fácilmente aumentando la presión del agua.

El manorreductor del agua se encuentra bloqueado mediante LOTOTO⁸ con candado. La llave del candado la guarda el encargado de mantenimiento. Se le pide para desbloquear el manómetro y poder aumentar hasta 2,5 bares la presión del agua.

La limpieza para los dos equipos que solía durar entre 40 y 50 minutos, con la variación de la presión dura 30 minutos. Se ha obtenido una mejora de entre 10 y 20 minutos, lo que supone un 25%-40%.

8.2.2.3 Instalar una línea con válvulas para hacer el by-pass y eliminar las mangueras

La creación de un nuevo colector entre los dos equipos Futurix implica un cambio tanto en la instalación como en el procedimiento de éste. La empresa, que está muy concienciada

⁸ Bloqueo de control de energía peligrosa. Procedimiento para bloquear posibles fuentes que afecten a la seguridad.

en temas de seguridad de equipos, controla que todos los cambios de las instalaciones no supongan un riesgo tanto en la salud de los trabajadores como al medioambiente, ni suponga ningún problema a la calidad de los productos. Para ello, cada modificación que se quiera generar debe pasar por un procedimiento administrativo interno llamado *Managment of Change*, comúnmente conocido como MOC. Este procedimiento se resume en un documento donde se especifica: los equipos afectados, el jefe del proyecto, los P&IDs afectados, el Origen del proyecto (qué departamento lo quiere desarrollar), los objetivos de efectuar la modificación del equipo, una breve explicación de lo que se hará, y por último, se debe rellenar una tabla donde se deben marcar todos los factores de afectación, por ejemplo, si afectará al consumo de agua o electricidad, si afectará al estudio HAZOP⁹ del equipo, si afecta a los planos o al programa de salud entre otros. Una vez cumplimentada toda la documentación y teniendo en posesión la oferta de la instalación validada por el *Project Leader* (en este caso el *Champion*), los documentos relacionados con las características técnicas del equipo que se instalará y el presupuesto, esto se adjunta y se firma por los diferentes managers afectados y el *Site Manager*.

Es un proceso administrativo obligatorio que permite hacer un estudio previo a la afectación de la instalación y un posterior seguimiento de la implantación.

Así pues, sabiendo esto, se pidió presupuesto a una empresa de montajes industriales que anteriormente ya había trabajado en DSM. La empresa adjuntó 4 posibles soluciones al problema, cada una con diferentes precios y diferente disposición de válvulas. Valorando las necesidades que DSM tenía junto con el presupuesto, se decidió por uno cuyo presupuesto era el más apropiado discutiéndolo con el manager de producción.

La fábrica de DSM dispone de un almacén de herramientas y útiles para usar tanto en caso de emergencia como para pequeñas instalaciones generadas por el departamento de mantenimiento. Sabiendo esto, para rebajar el presupuesto del colector, se pidió a la empresa de montajes un listado de las piezas necesarias para fabricar el colector y se miró si se disponía en el almacén. Se encontraron buena parte de las piezas, así pues esto generó una rebaja en el presupuesto de la instalación.

Con el presupuesto cerrado y el documento MOC firmado, se dispuso a concretar una fecha de realización. Aprovechando la parada generada en Noviembre, (que supone una parada de producción para la realización de tareas de mantenimiento y proyectos) se realizó la instalación el 2 de Noviembre del 2015.

La maniobra del *by-pass* utilizando la línea de válvulas ha supuesto una disminución de

⁹ *Hazard and Operability Analysis* (HAZOP). Metodología para identificar situaciones de inseguridad en plantas industriales.

unos 10 minutos en el montaje de Futurix y casi una eliminación del tiempo que conlleva hacer el *by-pass*, ya que la apertura de válvulas dura tan solo 30 segundos. Esto conlleva una mejora del 28% en el montaje previo pasando de 35 a 25 en el montaje de los equipos previo al filtrado y una mejora del 99 % pasando de 15 minutos a 30 segundos en la realización del *by-pass*.

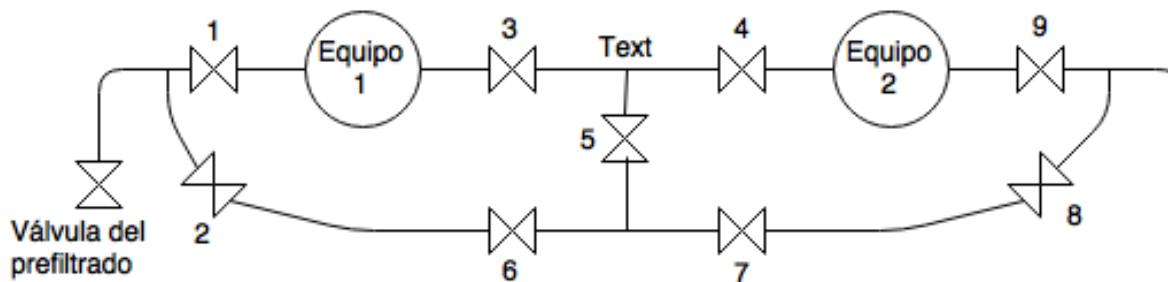


Ilustración 8.2. Esquema de la nueva instalación del colector y del sistema Futurix. Las válvulas 2, 6, 7 y 8 junto con las líneas que las unen son las que se han instalado.

8.2.2.4 Instalar un sistema de apertura de las tapas más rápido

Para la realización de esta tarea, se deben seguir los pasos anteriores con lo que respecta al MOC, al presupuesto y a la captación de documentos técnicos de la instalación que se quiere montar. Sin embargo, hay una diferencia que hace que esta modificación del equipo sea más compleja que la instalación de un colector, y es que los equipos de filtrado son equipos a presión con una documentación acreditativa muy restrictiva controlada por legislación. Esta documentación ante cualquier modificación se debe acreditar por una empresa auditora realizando las pruebas requeridas que conllevan una subida del precio del proyecto.

Como anteriormente, se contactó con una empresa especializada en mantenimiento industrial para que hicieran una primera oferta de la instalación. Una vez hecho el presupuesto y validado que la solución aportada es la que corresponde a las especificaciones requeridas, se genera el documento MOC.

El manager de producción entiende la importancia del proyecto y le interesa la mejora ergonómica de la instalación. Es por eso que acepta realizar el proyecto y lo planifica para el cuatrimestre 3 del año (septiembre-diciembre del 2016).

No se puede discutir si esta mejora aportará realmente las mejoras previstas (50% de mejora), será una tarea que se deberá planificar en la post-implementación del proceso de mejora. Se discutirá en la próxima etapa Controlar cómo se planificará el seguimiento.

8.2.3. Estandarización de mallas para los productos estudiados

Una de las áreas de ataque del proyecto es la potenciación de mallas ante el uso de cartuchos. Para ello se hizo una búsqueda de mallas especializadas en el filtrado de resinas y se encontró unas de la empresa A usando tecnología POEX. Estas mallas muestran una mayor superficie filtrante en comparación con las mallas usadas normalmente en la fábrica, que son PONG. Así pues, en lo que se refiere a consumibles se dispone de cartuchos, mallas PONG y mallas POEX.

Después de generar pruebas con las mallas POEX se observa una gran mejora en los tiempos de filtrado que no afecta a la calidad del producto acabado. Una vez establecido que POEX es mejor que PONG (prueba 1.2 apartado 8.2.3.2) tanto en tiempos de filtrado como en número de veces que se generan cambios, el siguiente paso es la de estandarizar para cada producto qué micraje genera mejores tiempos. Para ello, se generan un seguido de pruebas, que se resumen en el apartado 8.2.3.2.

8.2.3.1 Resinas B y C: pruebas con malla de no 75 micras

Uno de los problemas que se encontraron a medida que se realizaban las pruebas es que las mallas POEX de 75 micras eran muy difíciles de obtener por parte de los proveedores por su baja demanda en el sector. Ante este hecho se propone hacer pruebas para las resinas B y C que requieren este micraje con uno más pequeño para que se sigan cumpliendo los requerimientos de calidad. Estas pruebas se validan con el manager de calidad puesto que implican un cambio directo en las características de calidad del producto final. Las pruebas realizadas se encuentran en el siguiente apartado:

8.2.3.2 Historial de pruebas

Durante los meses de febrero y marzo del 2016 se generaron un total de 25 pruebas de las resinas A, B, C y D.

La resina F no se ha generado pruebas porque no ha habido un gran volumen de producción y además, según el estudio generado en la etapa Analizar, el problema de esta resina reside en las demoras generadas no en los tiempos de filtrado, ya que los tiempos reales en comparación con los tiempos totales son muy diferentes. Además, es una resina fácil de filtrar, eso significa que los sedimentos no afectan de forma habitual y por lo tanto, se decide que no aporta mucho valor añadido estudiar extensivamente qué micraje es el mejor para este producto ya que el margen de mejora no es grande.

Mientras se realizaba este proyecto de mejora centrado en Futurix, se desarrolló en paralelo otro proyecto con otro sistema de filtrado especializado en la resina E. Es por esa

razón que no se pudo realizar ninguna prueba con la resina E ya que todas estaban planificadas para el otro proyecto que se llevaba a cabo.

Hay que tener en cuenta pero, que la única diferencia entre la resina D y E es la de la adición del biocida (una de ellas lleva biocida y la otra no). En la etapa medir se pudo observar una pequeña desviación respecto la media, siendo la resina D más lenta y aportando más puntos anómalos que la E. Es por eso que se especula que si se encuentra el juego de mallas idóneo para la resina D servirá igual o mejor para su hermana. Este hecho, se tendrá que validar posteriormente y se contemplará en la etapa Controlar.

Para comprobar si las pruebas aportaban valores reales, útiles y fiables, se controlaron todas mediante las líneas de tendencia generadas en sala de control gracias a los sensores másticos que disponen los diferentes tanques. Las líneas de tendencia enfrentan cantidad de producto filtrado o por filtrar (depende del tanque que se mire, origen o destino) versus el tiempo. Cuando se generan paradas por cambio de consumibles o por demoras, se puede observar fácilmente puesto que es una línea recta en el gráfico. Cuando el proceso funciona correctamente la línea es una diagonal que sube si se está mirando el tanque destino o baja si se observa el origen. Gracias a estos diagramas se puede diferenciar perfectamente el tiempo real el tiempo total y el tiempo de demoras.

Es importante saber leer estos gráficos ya que es muy diferente observar uno de filtrado que otro de envasado, el segundo, mostrará muchas más líneas horizontales pequeñas a causa de los llenados de IBC o bidones. También se debe tener en cuenta que durante el cambio de turno, 6 de la mañana y de la tarde, es usual ver más líneas rectas, o durante la hora del almuerzo. También es importante tener en cuenta si fue una resina con un alto sedimento o no y sobretodo, qué micraje de mallas se utilizaron en cada tramo diagonal de la gráfica y cuando se realizaron los diferentes cambios de mallas.

La siguiente tabla resume las pruebas de los filtrados (no envasados):

Resina	Prueba	min/T	Mejora ¹⁰	Prefiltrado : nº mallas	Prefiltrado: Tipo consumible	Futurix: nº mallas	Futurix: Tipo consumibles	Observaciones
Resina A	1.1	3,93	86%	2	50 POEX	6	5 POEX	No hace falta ejecutar el by-pass.
	1.2.1	4,91	82%	1	200 PONG	6	5 POEX	Equivalen al mismo
	1.2.2	20,08	27%	1	200 PONG	6	5 PONG	filtrado, pero en un equipo se pusieron POEX y en el otro PONG. Se observa que POEX da mejores valores que PONG
	1.3	14,97	46%	3	25 POEX	6	5 POEX	Al tener un micraje pequeño de prefiltrado, va más lenta, pero hace que no se tengan que cambiar las mallas de Futurix.
	1.4	6,88	75%	2	200 PONG	12	5 POEX	1 hora de demora por ejecución de by-pass (no contabilizado)

¹⁰ Respecto las medias obtenidas en el apartado 6.4.1 de la etapa Mejorar.

Resina C	2.1	12,53	36%	1	800 PONG	12	75 PONG	
	2.2	12,12	38%	3	400 PONG	12	75 PONG	
	2.3.1	15,04	23%	5	200 PONG	12	50 POEX	Equivalen al mismo lote,
	2.3.2	11,28	43%	1	200 PONG	6	25 POEX	pero durante la prueba se quiso valorar qué micraje era el más idóneo y se cambió a medio filtrado
Resina D	3.1	4,56	75%	2	400 PONG	6	25 POEX	
	3.2.1	15,38	15%	1	400 PONG	6	25 POEX	Equivalen al mismo lote, cambio de micraje del prefiltrado, de 400 a 800 micras
	3.2.2	9,41	48%	1	800 PONG	6	25 POEX	
	3.3	4,56	75%	2	400 PONG	6	25 POEX	220 min de demoras (no contabilizados)
	3.4	5,06	72%	1	200 PONG	6	25 POEX	Comportamiento perfecto. Ninguna demora.
	3.5.1	8,58	53%	1	200 PONG	6	5 POEX	Cambio del micraje del prefiltrado, de 200 a 75 micras
	3.5.2	12,48	31%	2	75 PONG	6	5 POEX	
	3.8	13,73	24%	1	200 PONG	6	5 POEX	150 min demoras (no contabilizados)

Tabla 8.3 Resumen de las pruebas de filtrado realizadas con los tiempos de filtrado entre cantidad filtrada, porcentaje de mejora y tipo de mallas y cantidad usadas.

La siguiente tabla refleja las pruebas de envasado:

Resina	Prueba	min/T	Mejora	Prefiltrado : Nº mallas	Prefiltrado: Tipo consumible	Futurix: nº mallas	Futurix: Tipo consumibles	Observaciones
Resina A	1.5	86,54	-213%	1	200 PONG	6	5 PONG	13 bidones
	1.6	21,09	24%	1	200 PONG	18	5 POEX	14 IBC
	1.7	14,29	48%	1	200 PONG	24	5 POEX	13 IBC
ResinaB	4.1.1	23,33	-25%	1	200 PONG	6	50 POEX	25 bidones
	4.1.2	5,48	71%	2	200 PONG	6	(Anteriores 50 POEX)	20 IBC
Resina C	2.4	209,52	-968%	1	200 PONG	12	75 PONG	3 IBC

Tabla 8.4. Resumen de las pruebas de envasado realizadas con los tiempos de filtrado entre cantidad filtrada, porcentaje de mejora, tipo de mallas y cantidad usadas y número de envases.

Si se hace caso de los datos expresados en las tablas anteriores, se podría decir fácilmente que los resultados de los tiempos de los envasados no son óptimos. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el hecho de llenar IBCs o bidones hace que el proceso sea más lento. Es por eso que se recalca la importancia de las líneas de tendencia a la hora de analizar las pruebas.

Para las pruebas 1.6 y 1.7 ambos envasados de IBCs, se ve una diferencia muy grande en los tiempos de filtrado y consumibles usados. Esto es porque en la 1.7 hubo problemas de sedimentos con la resina A. Es un claro ejemplo de cómo puede variar una misma resina de un lote de producción a otro.

Algunas de las pruebas más representativas son las siguientes:

8.2.3.3 Comparación envasado y filtrado

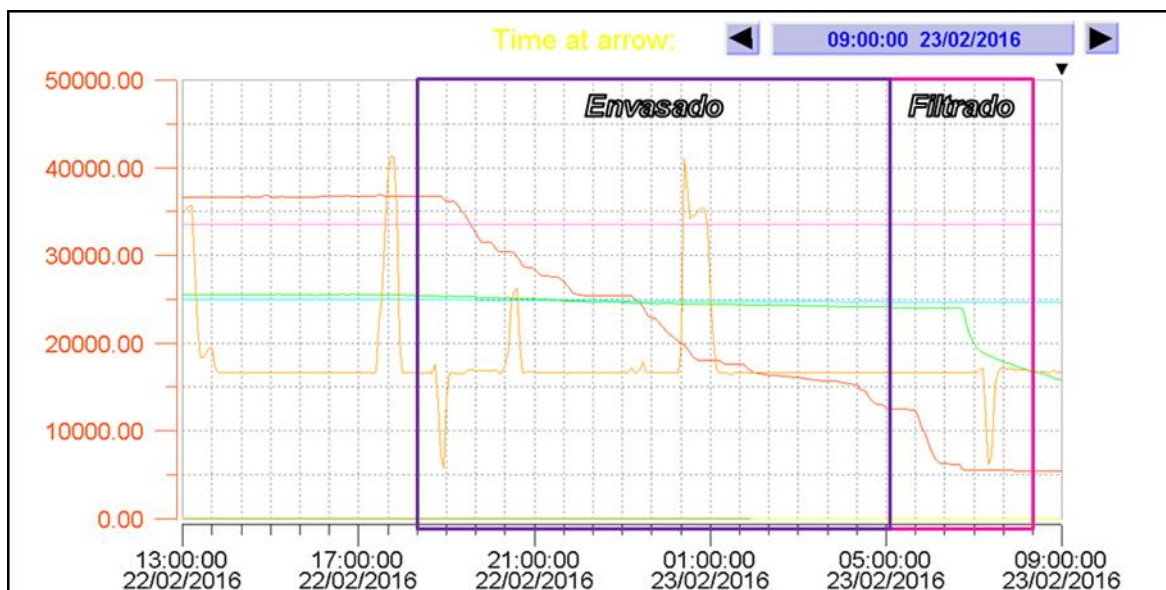


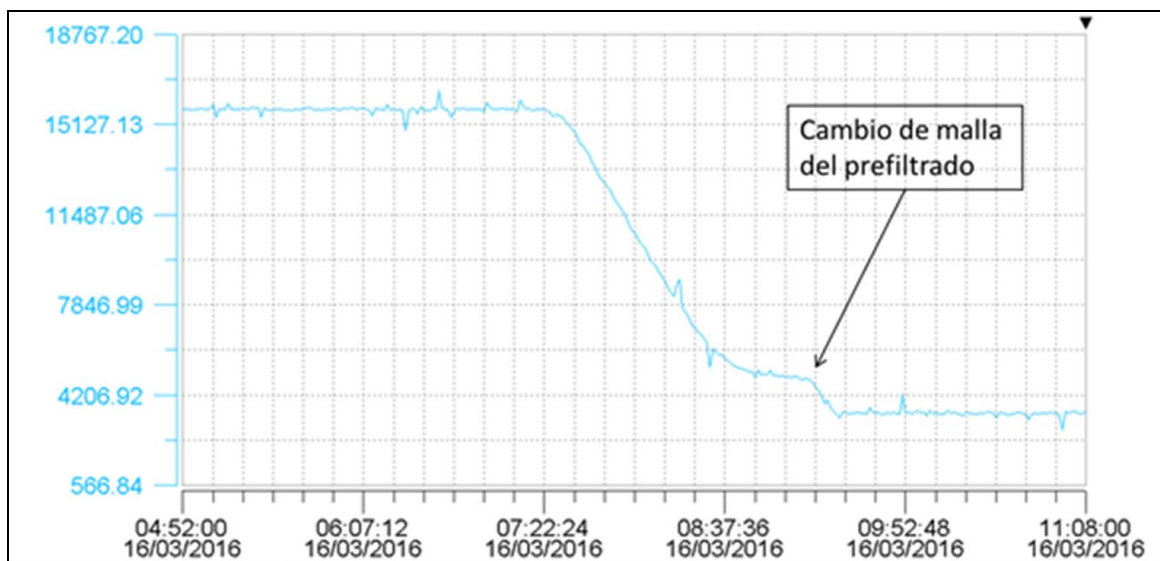
Ilustración 8.3. Envasado y filtrado de la Resina C. 23/02/2016. La línea de tendencia es la naranja. Falta de información por mala cumplimentación de las hojas de envasado y filtrado.

Envasado/Filtrado de la resina C. Aunque esta prueba no está representada en la tabla anterior por ser anómala, ya que faltaban muchos datos en las hojas de cumplimentación como el tipo y número de consumibles, se ha considerado interesante poner el gráfico porque se visualiza claramente los pequeños parones de la envasadora a la hora de cambiar de envase y permite comparar estas paradas con las referidas a demoras, como la que se efectúa de 9 a 10 de la noche para cenar. Y porque se puede comparar para un mismo lote los dos procedimientos de filtrado y envasado.

De 1 a 5 de la madrugada en comparación con las otras horas, la tendencia tiene menos pendiente debido a diversos factores: el volumen en el tanque es menor, por lo tanto, ejerce menos presión y/o que los consumibles están saturados y el envasador no ha realizado el cambio.

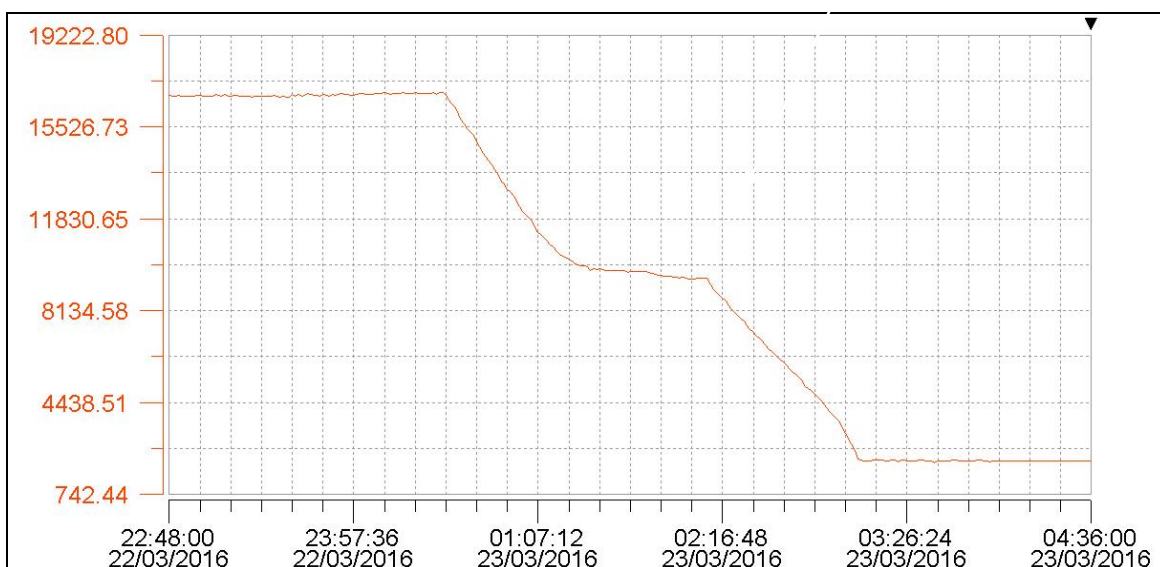
En lo que se refiere a la diferencia entre filtrado a tanque y envasado, el más claro es el de que la línea de tendencia para el filtrado es constante.

8.2.3.4 Filtrado con cambio de malla en el carro de prefiltrado



Il·lustració 8.4. Filtrado Resina A. 16/03/2016.

Filtrado de la resina A (Prueba 1.1). La tendencia es constante hasta que se llega a saturar la malla del prefiltrado, en este caso de 50 micras, y deja de pasar producto. El envasador tardó 15 min en realizar el cambio, una vez hecho se siguió filtrando hasta finalizar. En este filtrado se obtuvo una mejora del 86%, uno de los mejores valores.



Il·lustració 8.5. Filtrado resina A. 23/03/2016.

Filtrado resina A (prueba 1.4). Cambio de malla del prefiltrado. Aunque el cambio de malla tendría que haber sido de 5 minutos máximo, el envasador normalmente tarda en darse cuenta de que la malla está saturada ya que aparte de filtrar está haciendo otras tareas. Se acepta hasta 20 minutos para cambiar la malla del prefiltrado (no hay ejecución del by-

pass).

8.2.3.5 Afectación de las demoras en los tiempos totales de filtrado

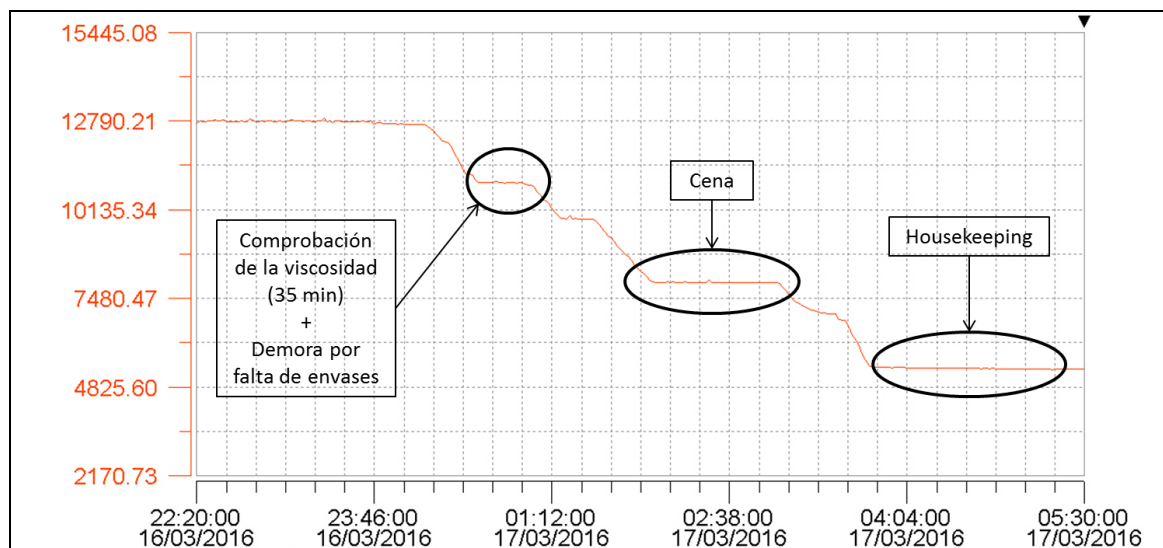
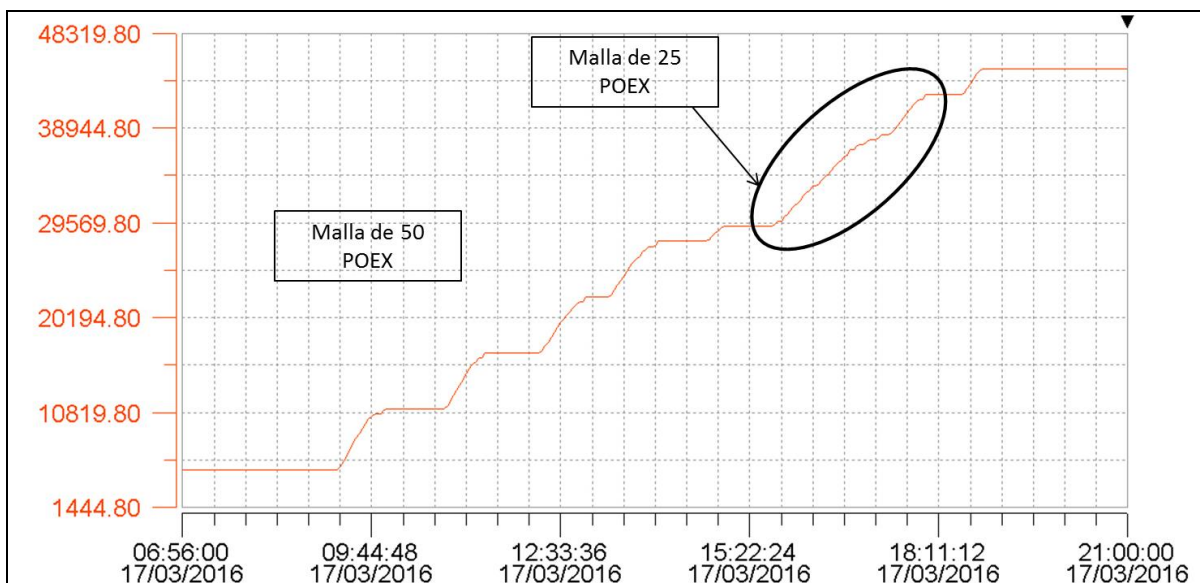


Ilustración 8.6. Envasado Resina B 25 bidones y 20 IBCs. 17/03/2016.

Envasado de la resina B (Prueba 4.1) donde hubo tres paradas marcadas: control de calidad y demora por falta de envases, cena y *housekeeping*. En lo que se refiere a la comprobación de la viscosidad, aclarar que no es demora ya que es una actividad obligatoria que no se puede eliminar. Por otra parte, la cena duró 70 minutos, y el *Houskeeping* duró hasta el cambio de turno donde hubo relevo de envasador y este último acabó el envasado. Esto provoca 250 min de demoras con 185 min reales de envasado (57.5% de demoras).

8.2.3.6 Pruebas con resina C con un micraje más pequeño



Il·lustració 8.7. Filtrado resina C. 17/03/2016. Cambio de malla 50 POEX a 25 POEX en los equipos Futurix.

En el filtrado de la resina C (prueba 2.3.1 y 2.3.2) se observa el tanque destino. Hubo un cambio de mallas de 50 a 25 micras para observar para un mismo lote la repercusión de cambiar el micraje. Los resultados muestran una mejora usando POEX en vez de PONG y una mejora en la de 25 micras respecto la de 50 micras, pero a la práctica, no es recomendable filtrar esta resina con 25 micras porque el cliente la pide a 75 micras. El hecho de filtrarla a 50 micras es porque no hay opción de usar otra malla. Al filtrarla a 25 micras se ha podido ver que sería viable en el caso de que el cliente pidiera una mejora en la calidad del producto. Así pues, se percibe la existencia de un margen de mejora en caso de necesidad.

8.2.3.7 Filtrado sin cambios de mallas

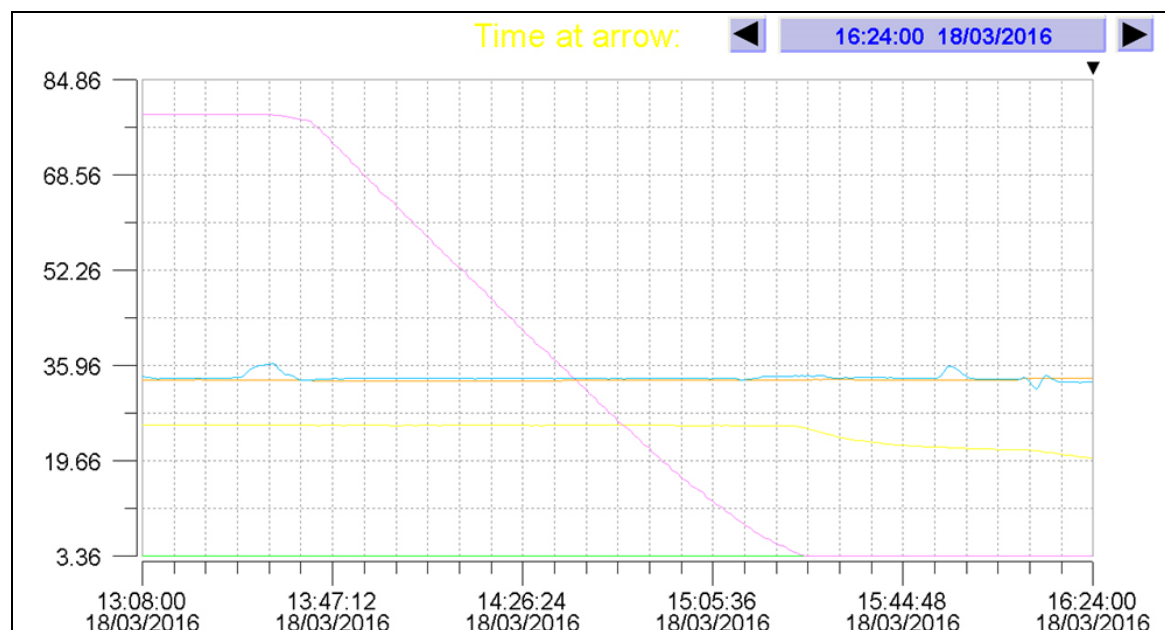


Ilustración 8.8. Filtrado resina D. 18/03/2016. La línea de tendencia es la rosa. No se realizó ningún cambio de mallas.

Filtrado de la resina D (prueba 3.4). No hay cambios de mallas ni hay demoras.

8.2.3.8 Envasado estándar



Ilustración 8.9. Envasado de 14 IBCs Resina A. Prueba 1.6. La línea de tendencia es la naranja. Demora de 40 minutos por comida, pero al no reflejarse en la tendencia significa que mientras el

envasador comía, un compañero experimentado le relevó. Esa es una buena práctica.

8.2.3.9 Observaciones y reflexiones durante las pruebas

Un hecho que se ha observado durante las pruebas es la de que a menor diferencia de micrajes entre las mallas del prefiltrado y de los equipos Futurix (por ejemplo un juego de $50\mu\text{m}$ – $25\mu\text{m}$), menos número de *by-pass* se requerían hacer así que menos mallas de los equipos Futurix se cambiaban, pero mayor número de cambios se tenían que hacer para el prefiltrado. Teniendo en cuenta que en los equipos Futurix se usan 6 mallas y el prefiltrado solo 1, esto supone un ahorro económico importante.

Sin embargo, al poner un micraje pequeño en el prefiltrado, se genera un efecto embudo que hace que el filtrado en sí sea más lento. Esto es porque la malla del prefiltrado elimina los sedimentos mayores y el producto llega a las mallas de Futurix sin muchos sedimentos, así que están más protegidas.

Por otro lado, a mayor diferencia de micrajes entre los dos tipos de mallas (por ejemplo $400\mu\text{m}$ - $25\mu\text{m}$), mayor rapidez de filtrado porque se minimiza el posible efecto embudo, pero mayor número de cambios se realizan porque la malla del prefiltrado no elimina tanto los sedimentos como en el anterior caso. Al aumentar el número de cambios de los equipos Futurix, aumenta los costes del proceso, y el de posibles demoras ya que aunque la maniobra del *by-pass* sea de 30 segundos, lo más probable es que el envasador tarde entre 10 y 30 minutos en darse cuenta que tiene que realizarlo, o que se dé cuenta pero tenga otras tareas que hacer.

La clave es llegar a un equilibrio entre el mínimo número de cambios de los equipos Futurix y el mínimo tiempo de filtrado.

Sabiendo esto, comparando los diferentes porcentajes de mejora de los tiempos tanto en los filtrados como envasados, y escogiendo finalmente uno para la resina C, un micraje en función de la calidad que pide el cliente final, se ha estandarizado las mallas para cada producto:

8.2.3.10 Estandarización definitiva de mallas

La siguiente tabla expresa la estandarización de las mallas para cada resina:

Nº consumibles aprox. que se gastarán por filtrado

Resina	Mejora	Juego de mallas (prefiltrado + Futurix)	Malla Prefiltrado	Malla equipo Futurix
Resina A	86%	50 POEX + 5 POEX	2	6
Resina B	71%	200 PONG + 50 POEX	2	6
Resina C	23%	200 PONG +50 POEX	4	12
Resina D	75%	400 PONG + 25 POEX	2	6

Tabla 8.5. Estandarización de consumibles.

Para acabar de estandarizar se actualizará en SAP las mallas requeridas para estas resinas, por lo tanto, aparecerán en las hojas de filtrado y envasado haciendo más robusto el procedimiento. Hay que dejar claro, que la malla del prefiltrado puede variar según los parámetros de calidad que presente la resina. Esto se discutirá más claramente en la etapa controlar.

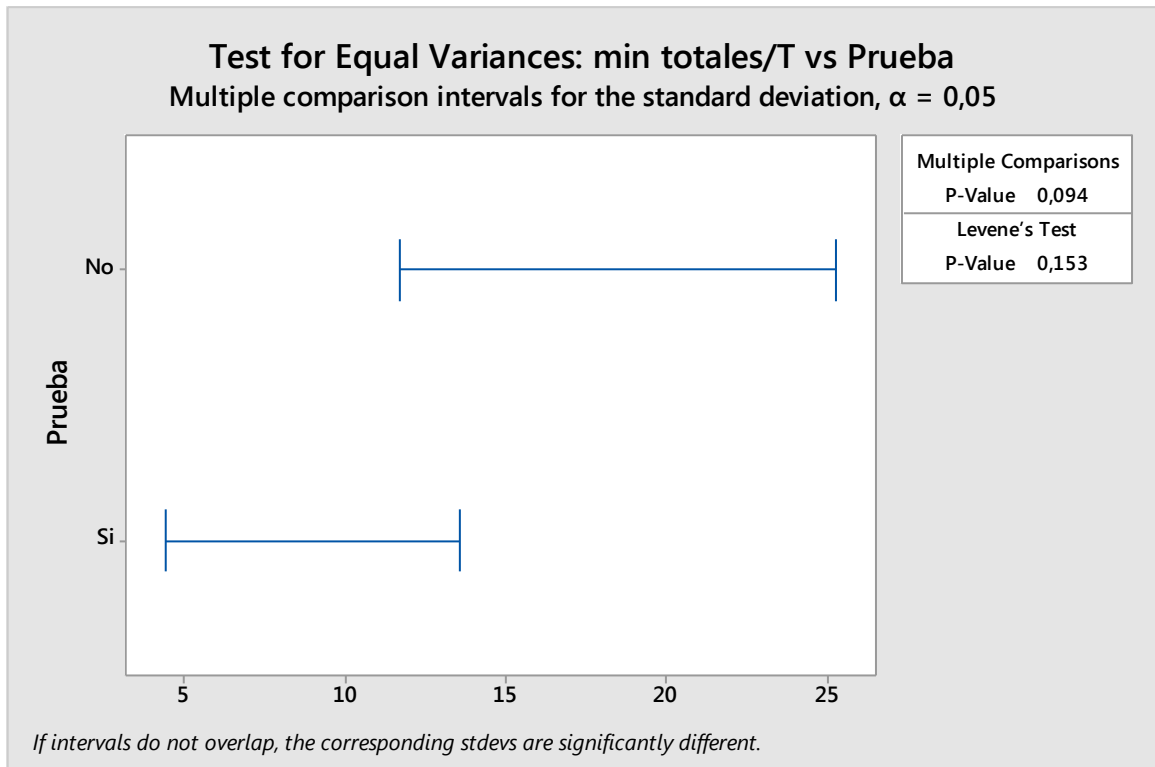
8.2.3.11 Verificación de mejora de tiempos de filtrado.

Aunque para las resinas A, B, C y D se ha llegado a mejorar un porcentaje positivo, estadísticamente no se puede verificar que existen diferencias entre las medias y las variabilidades sin pasar por un estudio ANOVA *One way*.

Para saberlo se ejecuta el estudio donde los datos se dividirán en dos grupos: los recogidos antes de las pruebas realizadas en el apartado mejorar (Pruebas=NO) y los que pertenecen a dichas pruebas (Pruebas=SI). Primero se ha mirado si las varianzas son significativamente diferentes y después si las medias son significativamente diferentes o no, porque en caso de dar varianzas diferentes el estudio ANOVA de las medias no es cierto. La hipótesis inicial es que son iguales, la alternativa que son diferentes, y $\alpha=0,05$.

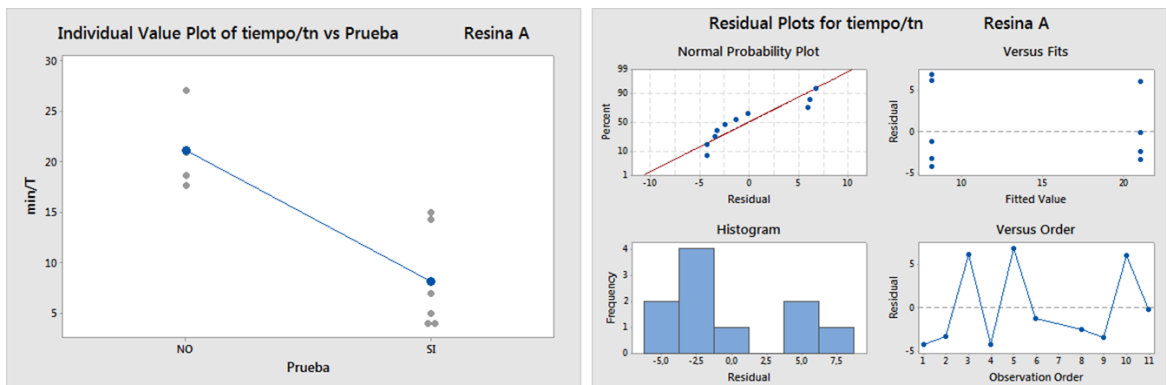
Resina A

Estudio de igualdad de varianzas: Varianzas iguales, $p\text{-valor} = 0,094 > 0,05$.



Il·lustració 8.10. Test de igualtat de variances de la Resina A.

Estudio de igualdad de medias: Significativamente diferentes, siendo la media de las pruebas menor. P-valor = $0,003 < 0,05$.



Il·lustració 8.11. Test ANOVA de la Resina A, donde la hipótesis inicial es que las medias son diferentes y la alternativa que son iguales. Se diferencian los datos extraídos las pruebas del histórico anterior.

Resina B

Estudio de igualdad de varianzas: Varianzas iguales, p-valor = $0,090 > 0,05$.

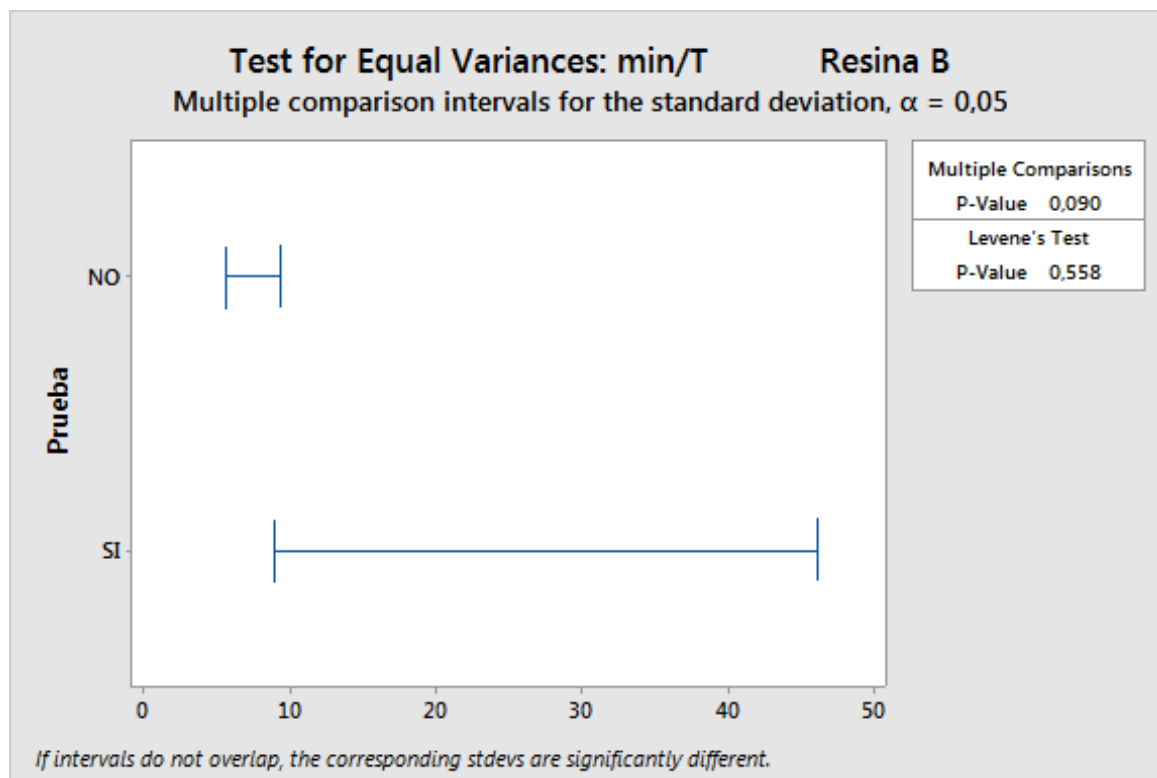


Ilustración 8.12. Test de igualdad de varianzas de la Resina B.

Estudio de igualdad de medias: iguales. P-valor = 0,904 > 0,05.

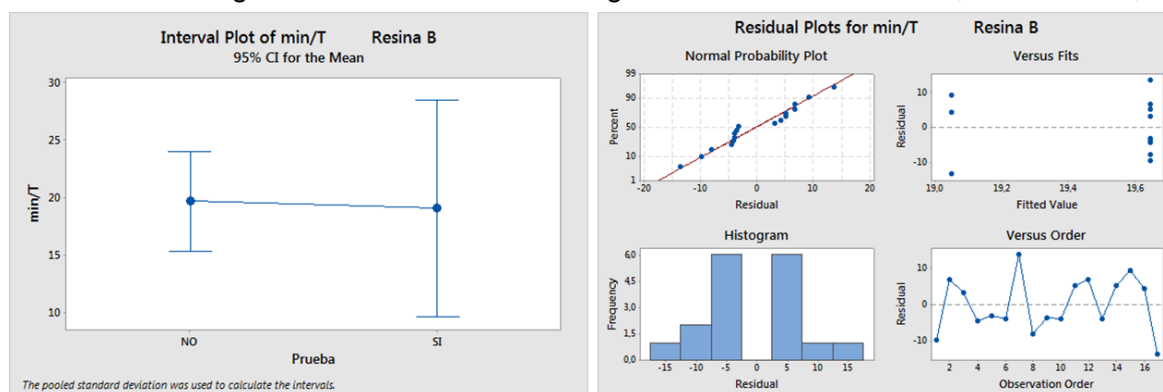
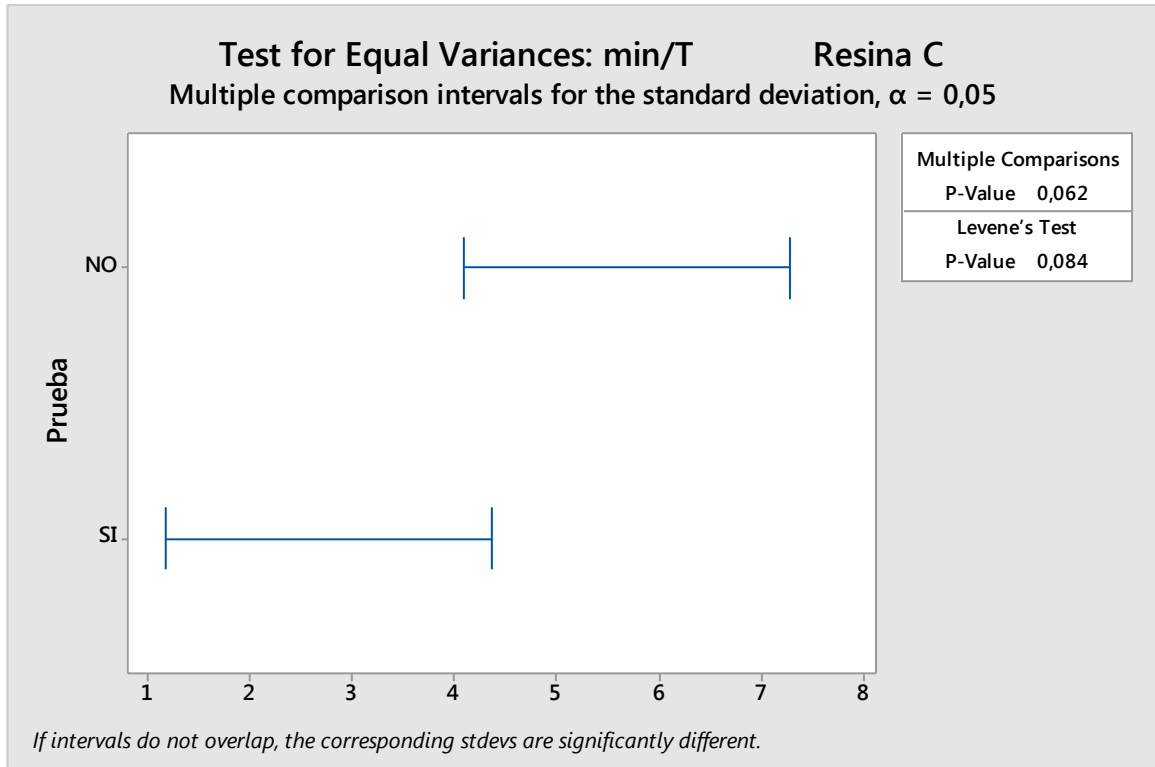


Ilustración 8.13. Test ANOVA de la Resina B, donde la hipótesis inicial es que las medias son diferentes y la alternativa que son iguales. Se diferencian los datos extraídos de las pruebas del histórico anterior.

No se puede decir que haya habido mejora. La resina B es un producto que se fabrica poco, es por esa razón que no se han podido realizar muchas pruebas. Se discute con el *Master Blackbelt* y el *Champion* y se decide dar por bueno e implementarlo. Una vez instaurado más adelante se podrá hacer un seguimiento y valorar si se necesita realizar cambios o no.

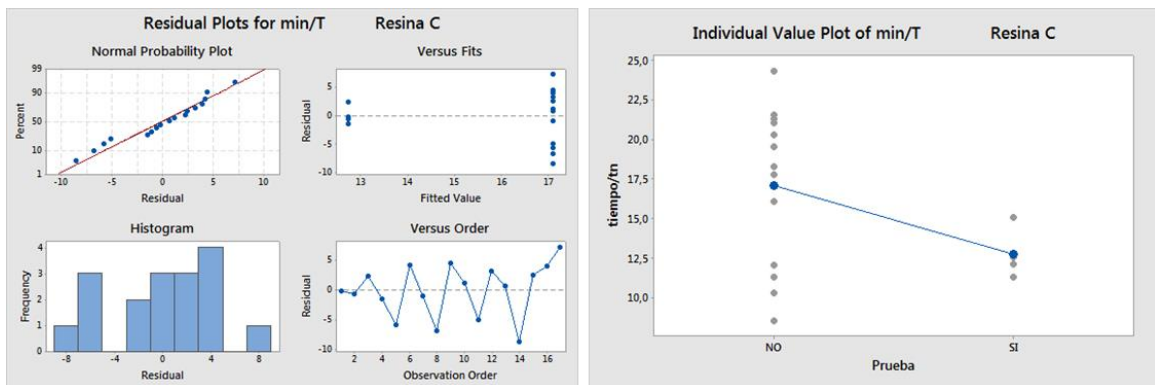
Resina C

Estudio de igualdad de varianzas: Varianzas iguales, $p\text{-valor} = 0,062 > 0,05$.



Il·lustració 8.14. Test de igualtat de varianzas de la Resina C.

Estudio de igualdad de medias: iguales. $P\text{-valor} = 0,115 > 0,05$.



Il·lustració 8.15. Test ANOVA de la Resina C, donde la hipótesis inicial es que las medias son diferentes y la alternativa que son iguales. Se diferencian los datos extraídos de las pruebas del histórico anterior.

Como en el caso anterior, no se puede decir que haya habido mejora. Se discute

con el Master Blackbelt y el Champion y se decide dar por bueno e implementarlo con un seguimiento posterior y abiertos a posibles cambios.

Resina D

Estudio de igualdad de varianzas: Varianzas iguales, $p\text{-valor} = 0,842 > 0,05$.

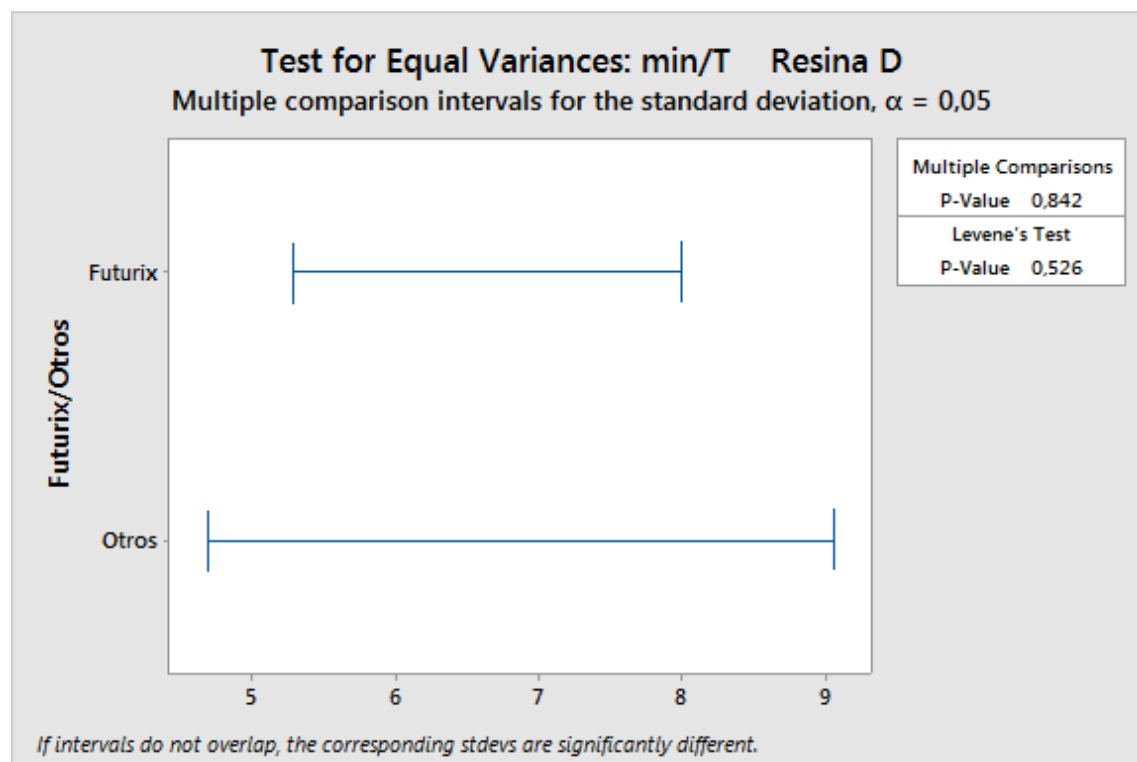
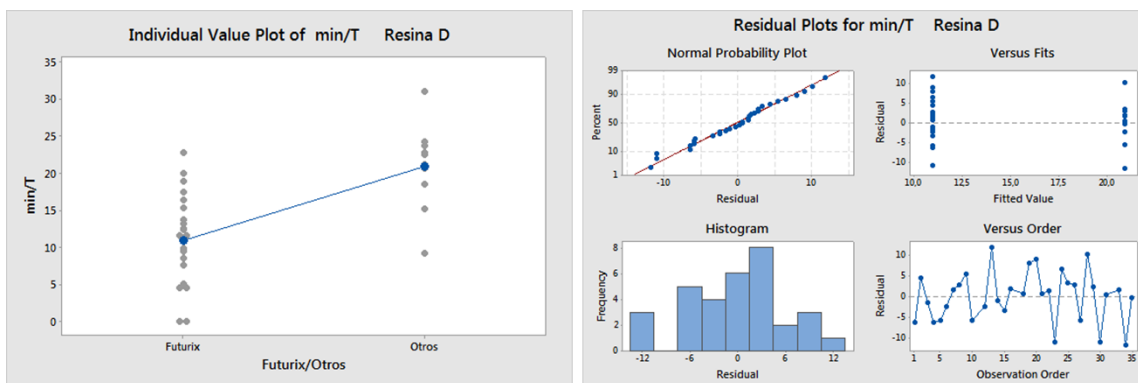


Ilustración 8.16. Test de igualdad de varianzas de la Resina D.

Estudio de igualdad de medias: diferentes. Tiempos menores en Futurix. $P\text{-valor} = 0,000 < 0,05$.



Il·lustració 8.17. Test ANOVA de la Resina D, donde la hipótesis inicial es que las medias son diferentes y la alternativa que son iguales. Se diferencian los datos extraídos de Futurix u otros sistemas de filtrado.

En conclusión, solo se puede afirmar que ha mejorado los tiempos de filtrado de las resinas A y D. Aun así, se implementarán igualmente las resinas B y C y se hará un control más estricto posterior al proyecto para valorar si se necesitarán cambios en de micraje de las mallas en un futuro.

8.2.4. Estandarización del proceso de filtrado Futurix

Para asegurarse que el proceso de filtrado se ejecutará según las alusiones anteriores, hace falta plasmar en un documento el cómo se hará, cuando y quiénes. Estos documentos se redactan y se sitúan en un directorio público de la red para cualquier usuario que necesite saber cómo ejecutar el proceso pueda tener acceso.

Además, según el plan formativo de la empresa, los operarios tienen que pasar un curso y realizar un pequeño test para asegurar que han entendido e interiorizado las tareas.

8.2.4.2 SOP y STWork

El SOP es un escrito donde se especifica claramente cada proceso que se genera en la fábrica, tanto de administración como de producción, almacén, mantenimiento... qué actividades se generan, cuál es el alcance y objetivo, los puestos de trabajos afectados y los escenarios HAZOP que se contemplan.

El proceso en si está definido paso a paso junto con los riesgos de seguridad y las medidas de mitigación correspondientes en el *Standard Work*. Cada SOP puede tener diferentes *Standards Works* adjuntados, tantos como diferentes procedimientos comprendan los procesos. Por ejemplo, en el caso del proceso de envasado y filtrado, existe un SOP con tres STW: el de envasado, el de filtrado con equipos no Futurix y el de filtrado por Futurix. Se ha decidido diferenciar el equipo Futurix por que hace falta describir con mucha

exactitud cómo hacer el procedimiento para que en un futuro no haya posibilidad de confusiones de uso ni divergencias de metodologías entre los envasadores.

En el caso de este proyecto, el SOP ya estaba redactado a excepción del STW de Futurix. Es por eso que se ha redactado el STW sobretodo detallando que:

- Solo se monta un equipo y que será el equipo 1. El segundo, equipo 2, se montará mientras pasa producto por la instalación para minimizar el tiempo de montaje.
- Se debe ejecutar tal y como se indica en el STW el by-pass del equipo 1 al 2 y viceversa.

A parte, también se ha decidido redefinir el SOP para hacerlo más claro y simple.

8.2.4.3 Formación de Futurix

La formación del proceso de filtración mediante Futurix se ha realizado a los envasadores, operarios categoría cinco y técnicos de turno de los cinco turnos que funcionan en la empresa.

En la formación se detalla:

- Qué resinas filtrar por Futurix definitivamente: A, B, C y D.
- Qué mallas corresponden a cada resina: adjunto en la tabla.
- Cuál es el procedimiento exacto de filtrado por Futurix: explicado en el STW.
- Cómo efectuar el *by-pass* y cuándo efectuarlo: observando las líneas de tendencia de los tanques o por el sonido de la bomba.
- Cómo decidir si se está realizando un buen filtrado: Especificado en el apartado controlar.
- Buenas prácticas: pequeños detalles que facilitan un buen funcionamiento de planta como la de dejar las cosas en el sitio que corresponde, complimentar con exactitud las hojas de filtrado y envasado, intentar minimizar los pequeños derrames fáciles de generar cuando se cambian las mallas de los equipos, cumplir con las medidas de seguridad o la de realizar un buen seguimiento de los equipos de filtrado para minimizar las demoras entre cambio de consumibles.

Después de cada formación los trabajadores deben firmar una hoja de asistencia para confirmar que la han recibido. Esta es la mejor manera de asegurarse que la información

llega a todos los puestos de trabajo afectados y de esta manera, la implementación se facilita.

8.3. Implementación

Una vez realizadas las pruebas, definidas las mallas para cada producto, realizando pequeñas soluciones para minimizar la cantidad de movimientos internos y redactando un manual de procedimiento, se puede implementar definitivamente el proceso:

Las acciones que se ha hecho para llevarlo a cabo son:

- Establecer en las hojas de envasado de las 4 resinas estandarizadas el tipo de mallas a utilizar y la cantidad de cambios aproximados.
- Instalar un equipo de prefiltrado semifijo cercano a la instalación y asignación de mangueras para minimizar movimientos internos.
- Planificar un proyecto de mejora de la apertura de la tapa.
- Realizar una formación específica del proceso de filtrado por Futurix.
- Negociar con el proveedor de las mallas POEX un abastecimiento planificado para tener siempre un estoc de seguridad y colocarlos en la estantería continua a Futurix.
- Reescribir el manual de proceso de filtrado y envasado puntualizando las mejoras generadas por este proyecto.

Una vez implementado el proceso, hace falta planificar cómo realizar el seguimiento correctamente para afianzar en un futuro que se efectúa tal y como se ha especificado en el proyecto. Esto se hace en la etapa siguiente: Controlar.

9. Controlar

La etapa controlar se encarga de garantizar que la implantación de las soluciones realizadas en la etapa anterior se ejecuten de forma correcta y se consoliden, evitando que sean temporales y reversibles. Para ello, es muy importante no solo estandarizar, sino también establecer indicadores y realizar un seguimiento a lo largo de 90 días.

A parte, también se encarga de valorar las acciones realizadas a lo largo del proyecto comparando el antes con el después, cerrar el proyecto definitivamente y en el caso que sea necesario, planificar futuros campos de acción relacionados con el proyecto que han quedado fuera de alcance y no se han podido estudiar.

El esquema será el siguiente:

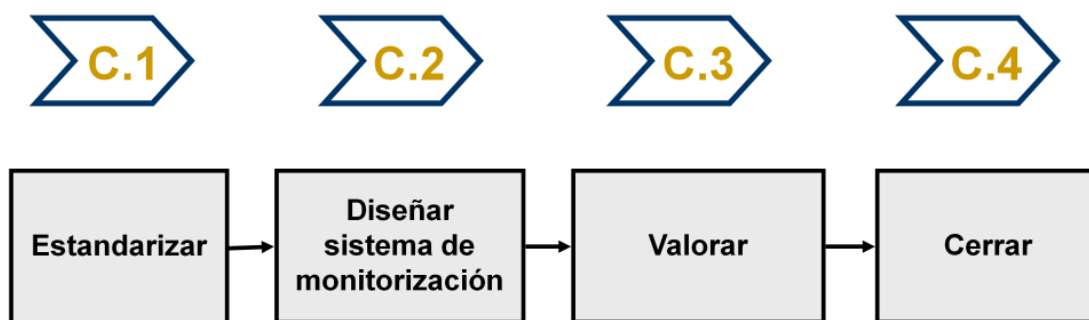


Ilustración 9.1. Esquema de los pasos que se seguirán en la etapa Controlar.

Donde el primer paso Estandarizar, se ha hecho como forma excepcional en el anterior apartado Mejorar debido a que el hecho de crear un manual de proceso bien detallado y a modo de guía se ha considerado como una mejora.

9.1. Diseñar un sistema de monitorización

Para que se realice la monitorización del proceso, hace falta definir los indicadores y los *targets* de los parámetros que se quieran estudiar.

Habrán tres indicadores de calidad: el tiempo que se espera que tarde una resina normal en filtrarse, los consumibles estimados que deberían gastarse y por último, la cantidad de producto que debería haber filtrado una vez se ha realizado en el primer cambio de la malla del prefiltrado. Los tres se discutirán en los siguientes apartados.

9.1.1. Tiempo total mínimo de filtrado

Para calcular los tiempos mínimos en el que se deberían filtrar las diferentes resinas, se ha considerado generar un estudio *Individual-Moving Range Chart* para poder visualizar las tendencias de las pruebas, comparar con los anteriores resultados del sistema y calcular los límites de control.

Si exponemos todos los datos no anómalos del sistema de filtrado Futurix desde el 01/06/2015 al 17/04/2016 se obtiene:

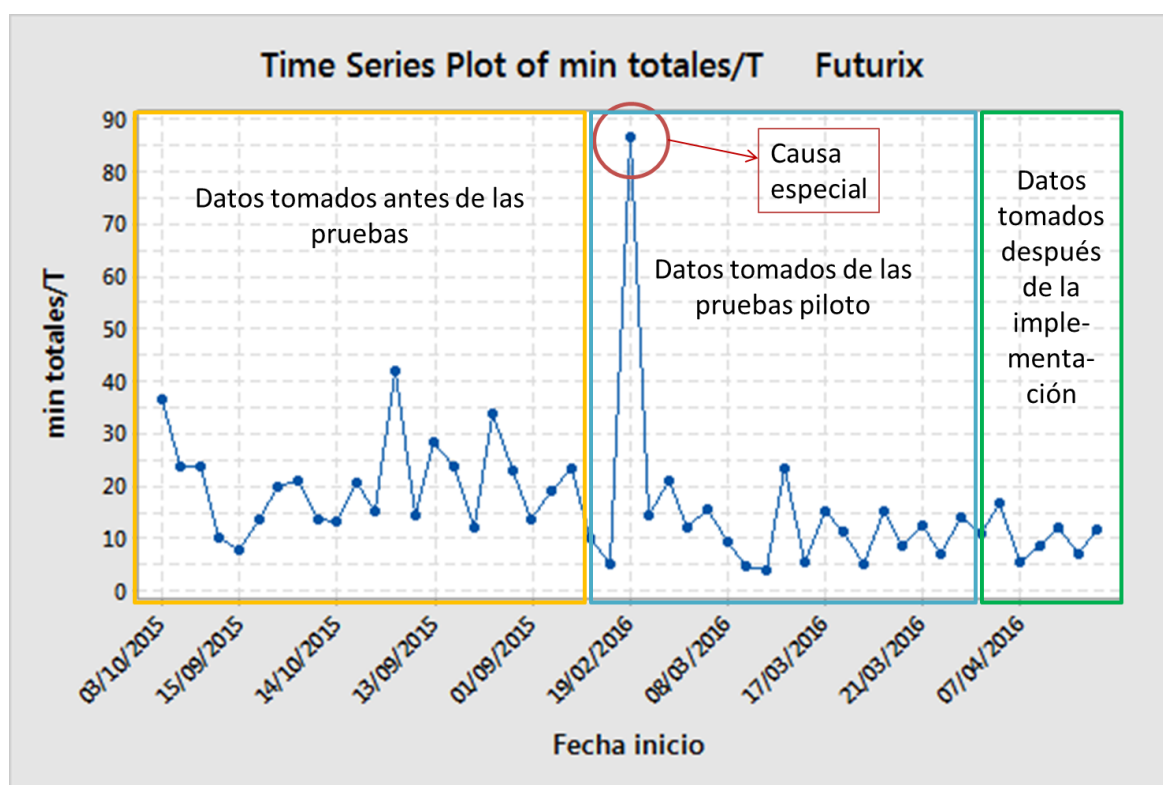


Ilustración 9.2. Time Series Plot del tiempo total entre cantidad filtrada en función del día que se produjo el filtrado. Se divide en tres grupos visibles: los datos históricos que se usaron en la etapa Medir, los datos que pertenecen a las pruebas de Mejorar y los datos tomados una vez se instauraron las mejoras.

Como se indica, se divide en tres partes, la primera corresponde al histórico de datos previo a la realización del proyecto, la segunda corresponde a los datos obtenidos de las pruebas piloto y la tercera a los datos recogidos después de la instauración de éste.

En la primera parte la variación entre datos es fácilmente visible y la media es ligeramente superior en comparación con la última etapa. Respecto a la segunda etapa, al principio se muestra más variabilidad debido a los diferentes ensayos con consumibles distintos.

Incluso existe un dato que se aleja de la media (prueba 1.5). A medida que las pruebas se desarrollaban, se puede comprobar una disminución tanto en la media como en la variación entre datos.

Una vez implementado, tanto la variación como la media de los tiempos totales de filtrado comparada con la del histórico previo es menor.

El programa estadístico Minitab® tiene una serie de herramientas que facilitan el cálculo de límites de control. Uno de ellos es el “SPC Chart Tests”.

Adquiriendo todos los datos de las pruebas piloto de las resinas A y D, que son las que más pruebas se realizaron, en el intervalo del 16/02/2016 al 17/04/2016, se obtiene los siguientes gráfico:

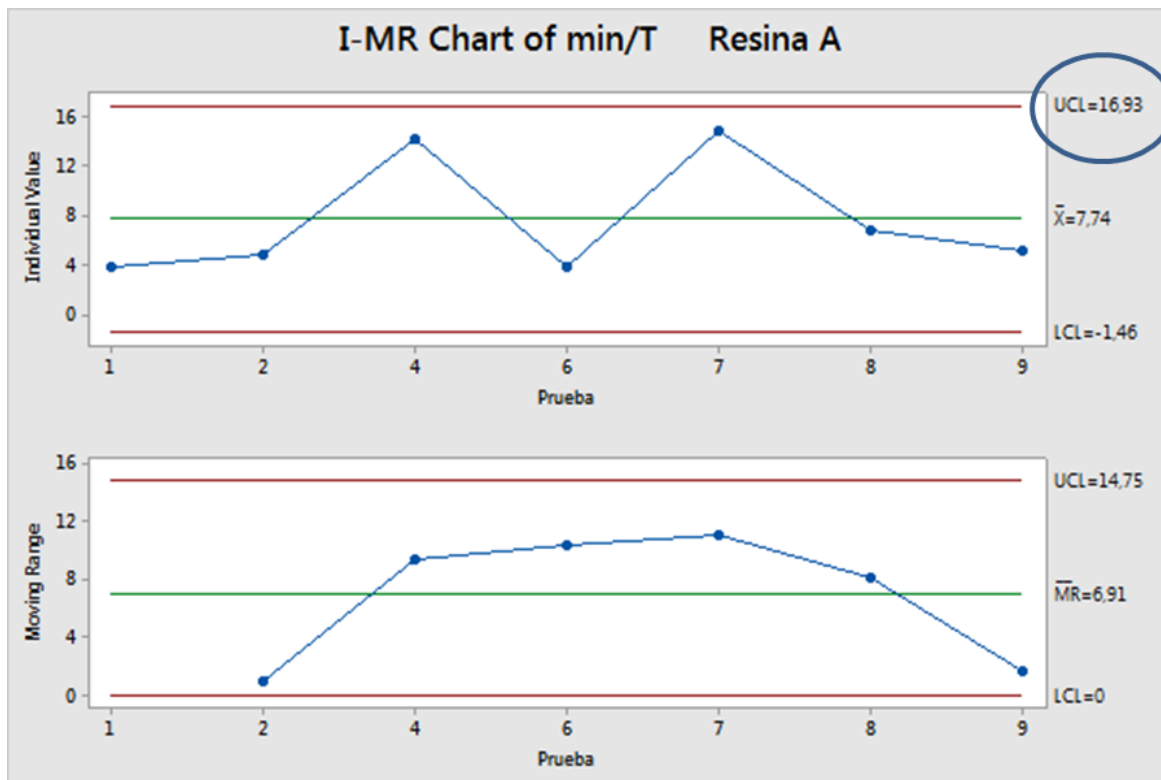
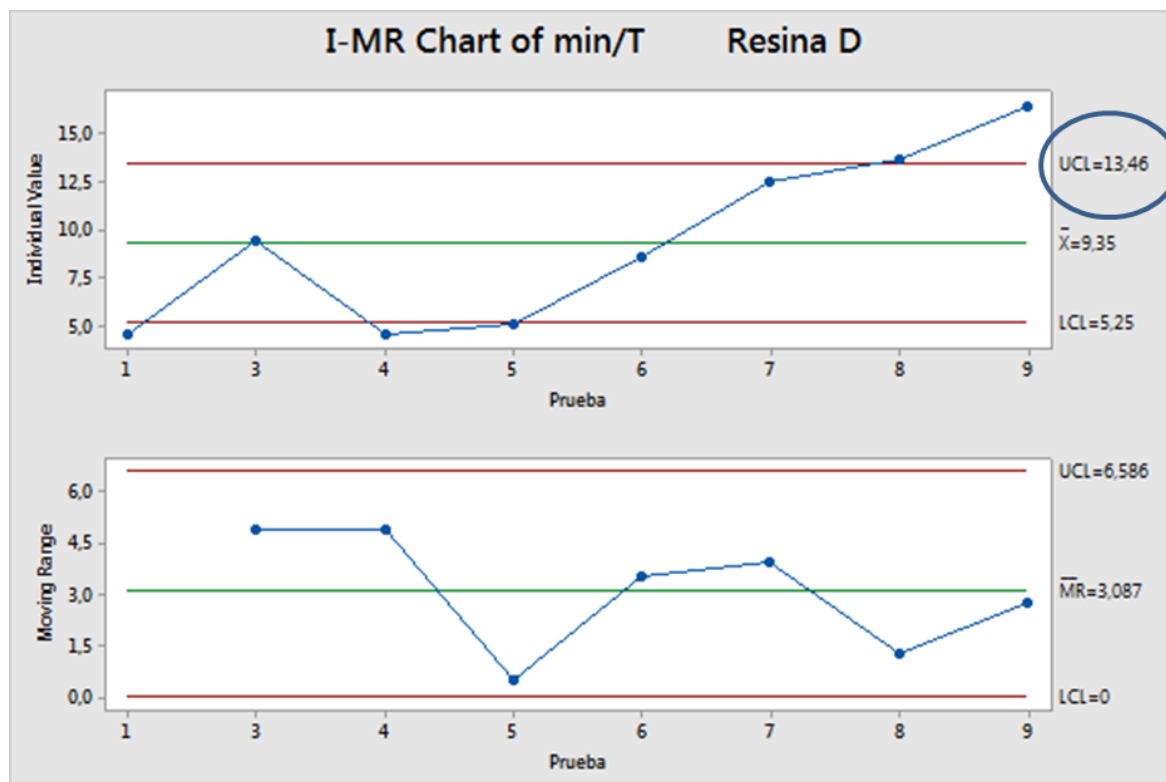


Ilustración 9.3. Gráfico I-MR Chart de la resina A donde se establece el límite superior de control.



Il·lustració 9.4. Gràfic I-MR Chart de la resina D donde se establece el límite superior de control.

Donde se ha eliminado el dato de la prueba 1.5 y se ha escogido una desviación estándar de ± 3 .

El *Individual Value*, indica los valores de cada prueba. En cambio, el *Moving Rate*, indica la variación de los procesos mediante el cálculo de rangos de dos o más observaciones consecutivas.

Según el estudio, los límites superiores calculados para las resinas A y D son respectivamente 16,93 min/T y 13.46 min/T. El límite inferior no interesa en este proyecto ya que en realidad interesa que sea lo más pequeño posible.

Lo que importa a la hora de establecer estos límites de control es que los datos anómalos por casos eventuales no entren dentro de estos límites ya que son muy puntuales. En cambio sí que interesa que los datos normales estén dentro el intervalo. Si se acorta mucho este, se tendrán demasiados datos anómalos, pero si se hace muy amplio, se perderá calidad y capacidad de mejorar.

Para las resinas B y C no se ha podido hacer este estudio debido a la falta de datos, aun así, se tiene en cuenta que los proyectos de mejora permiten modificar los parámetros aunque se haya finalizado el proyecto debido a la existencia de un seguimiento posterior ya

que también hay que tener en cuenta que cada resina puede mostrar comportamientos diferentes incluso entre lotes del mismo producto.

Se decide establecer el límite superior de control de las resinas B y C en 12,01 min/T y 17,36 min/T. Estos targets se calculan aceptando un mínimo de mejora de la mitad de lo esperado, o sea que si para la resina C se espera una mejora del 23%, se acepta un mínimo del 12% de mejora.

Transformando los targets obtenidos y calculados en min/T en min teniendo en cuenta la media de masa de cada lote de las cuatro resinas estudiadas, se puede obtener el tiempo mínimo en el que se filtrará un lote de resina normal (tabla x). Se convierte a minutos porque es la medida que los operarios pueden manipular mejor ya que se ahorran el cálculo de dividir el tiempo entre la cantidad que se está filtrando. Además hay que puntualizar que se redondea a la decena más cercana para facilitar también el control del tiempo.

9.1.2. Consumibles gastados estimados

A través de las pruebas hechas explicadas en la etapa mejorar, se ha realizado el estudio para percibir la cantidad de mallas que se gastarán en un filtrado normal para las 4 resinas:

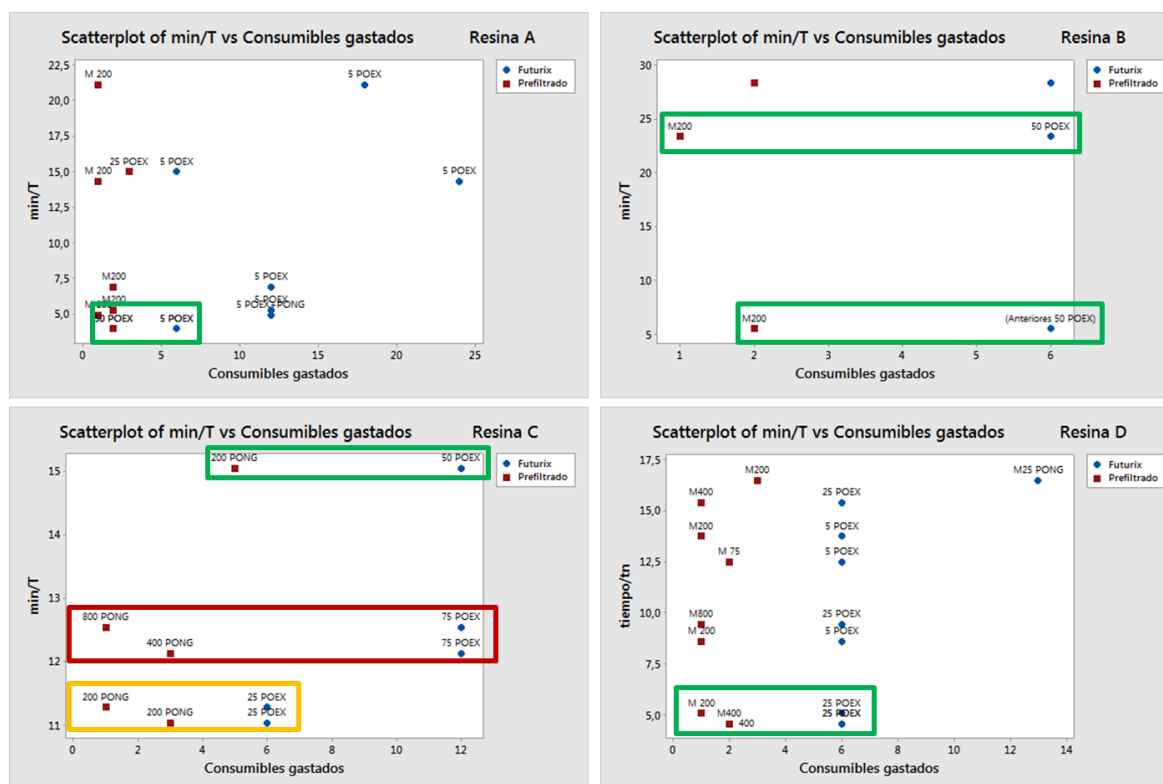


Ilustración 9.5. De izquierda a derecha y de arriba abajo, Scatterplots del tiempo de filtrado real entre la cantidad filtrada en función de los consumibles gastados y donde se indica para cada dato el tipo

de malla. Cada prueba tiene dos puntos, uno rojo y otro azul que se pueden unir horizontalmente. Los recuadros verdes indican las combinaciones que se harán estándar. En el caso de la Resina C, el recuadro rojo indica que no es posible esta combinación, el naranja que es la mejor pero que no se escogerá y el verde el que se estandarizará.

Si diseñamos un estudio estadístico bloqueado, o sea, considerando que cada prueba tiene dos datos diferentes: las mallas del prefiltrado y de Futurix gastadas. Y estos datos se representan en un diagrama min reales/T vs. Consumibles gastados, se obtienen los gráficos anteriores para cada resina donde cada los puntos que se unen horizontalmente pertenecen a la misma prueba.

Teniendo en cuenta que lo que se busca es encontrar el tipo de malla que minimice el tiempo de filtrado y la cantidad de consumibles que se gastan, se obtiene que para las resinas A, B y D, las que corresponden a la esquina inferior izquierda.

Como ya se comentó, la C utiliza de forma estándar las mallas de micraje 75, pero éstas son mallas muy difíciles de conseguir por parte del proveedor con un tiempo de entrega de hasta 2 meses. Esto dificulta mucho el abastecimiento y provoca roturas de estoc muy frecuentemente. Para resolver esta problemática se hicieron las pruebas con micraje menor y aunque como se puede ver en el gráfico la que mejor resultados ha dado es con la malla 25 POEX, se escoge la 50 POEX porque cambiar de 75 micras a 25 micras es un salto en la calidad demasiado grande que el departamento encargado ha indicado que no es recomendable hacer.

9.1.3. Cantidad mínima filtrada antes del primer cambio de mallas

Para poder distinguir si la resina que se está filtrando por Futurix es rentable, esto significa que habrá pocos cambios de mallas y se filtrará dentro del tiempo mínimo esperado, se ha creído conveniente especificar una cantidad mínima que se debe de haber filtrado antes de realizar el primer cambio de consumibles gastados.

Se considera que el primer cambio sea de la malla del prefiltrado o sea de los equipos Futurix, es normal realizarla después de los 40 minutos de funcionamiento. Sabiendo para cada resina el porcentaje de mejora medio que se puede obtener y considerando que se acepta que es un buen filtrado si se obtiene para cada resina al menos la mitad de esta mejora, se obtienen los mínimos kilogramos que se tienen que filtrar. Para corregir los posibles errores a causa de las diferentes sensibilidades de los sensores de los tanques y el tiempo que podría tardar la bomba en transportar el producto del tanque a los filtros, se ha decidido redondear a la centena mayor, también para facilitar a los operadores un número más práctico y manipulable.

9.1.4. Cuadro de indicadores y responsabilidades

Una vez calculados todos los índices se recogen en una tabla y se asignan responsabilidades para controlarlos:

Indicador de calidad: Target					
	Tiempo de filtrado total [min]	Consumibles gastados (prefiltrado + Futurix) [Uds.]	Cantidad filtrada en el primer cambio [kg]	Cómo se controla	Responsable
A	150	2 + 6	2500	A través de las hojas de envasado y filtrado: se especificará el <i>target</i> como valores máximos esperados. En caso de sobrepasarlos, el envasador deberá justificar por qué en el apartado “observaciones”.	- Envasadores: justificar el por qué en caso de no llegar al <i>target</i> .
B	120	2 + 6	3000		- Administrativo de planta: controlar que se cumple.
C	350	5 + 12	2000		- Coordinador de filtrado y envasado: detectar anomalías
D	150	2 + 6	3000		

Tabla 9.1. Cuadro de indicadores y responsabilidades.

Lo normal en un filtrado cualquiera es que el primer cambio de malla que se realice sea el del carro del prefiltrado, y de hecho, es lo que interesa ya que es más fácil y económico cambiar una malla que seis, que son las que se deberían cambiar de Futurix. El número de cambios tanto del carro de prefiltrado como del equipo Futurix refleja perfectamente como está funcionando el proceso. En caso de no cumplir el target “Cantidad filtrada en el primer cambio” pueden pasar distintos escenarios:

- **Escenario 1: El primer cambio se genera en el carro de prefiltrado.**
Significa que tiene muchos sedimentos la resina y satura con facilidad la primera malla. Se debería poner un micraje mayor en el carro del prefiltrado para no realizar tantos cambios de la primera malla.
- **Escenario 2: El primer cambio se genera en el equipo Futurix.**
Significa que los sedimentos no son atrapados en su mayoría por la malla del

prefiltrado. Como no se puede variar el micraje de las segundas mallas, se tendrá que cambiar la malla de delante por una de un micraje menor, para que así proteja mejor las posteriores. Se valora que es más provechoso cambiar un mayor número de veces una malla del prefiltrado que no seis mallas.

Así pues, cuando el operario esté filtrando el producto y no se cumpla el *target* de mínima cantidad filtrada antes del primer cambio, deberá tomar las anteriores medidas correctoras. En caso de que volviese a pasar algunos de los escenarios anteriores, se valoraría si el sistema de filtrado Futurix es en ese caso el más idóneo y si se requiere cambiar a otro sistema. Esta responsabilidad ya recae en el técnico de turno, aunque la responsabilidad de detectar el problema es del envasador.

El hecho de que se cumplan o no los targets y si se hacen las justificaciones en caso de no cumplirlos, lo seguirá el administrativo de planta, que ya controla algunos parámetros de procesos productivos. Cada mañana en la oficina de planta se realiza una reunión donde se comentan los indicadores, problemas o confusiones del día anterior. En el comentario de los indicadores se sumarán las del filtrado y envasado.

En caso de que el *target* no se consiguiera para algún lote y además la justificación del operario no sea clara, el coordinador de envasado y filtrado deberá investigar mediante las líneas de tendencia de los másicos de los tanques y preguntando al propio envasador qué ha podido ocurrir, si ha sido por un comportamiento anómalo de la resina o si ha sido por demoras y en este caso si han sido por causas humanas o por equipos.

Durante 90 días el seguimiento será exhaustivo y muy analítico también para poder corregir si hace falta los *targets* o pequeños detalles en los procedimientos. El papel del *Champion* será la de auditar si hace falta aplicar más medidas correctivas o no. Realizará con el equipo afectado reuniones periódicas cada 30 días para comunicar y verificar cómo se está haciendo la implantación del proyecto.

9.2. Valoración

Antes de cerrar un proyecto de mejora *Lean Six Sigma* se debe valorar si se han conseguido los objetivos financieros y no financieros, comparando la situación de partida con la final y los beneficios que se obtendrán anualmente gracias a la implementación de mejoras.

9.2.1. Valoración de los sistemas no financieros

En la etapa Medir se definieron los objetivos que correspondían a las Y's del proceso:

- Reducción del tiempo de montaje de equipos: Reducir de 1 hora a 20 minutos la preparación de la instalación Futurix.
- Reducción de la variabilidad del tiempo de filtrado/envasado: Reducir la variabilidad en un 20 % estandarizando el proceso y determinando qué mallas usar.
- Reducción de consumibles: Reducir la cantidad de consumibles consumidos en un 30%.

Se discutirá en los siguientes apartados si se ha llegado a los objetivos.

9.2.1.1 Reducción de horas de montaje:

Siendo restrictivos y escogiendo los mínimos tiempos de disminución que aportan las mejoras implementadas y sabiendo que un montaje normal del sistema Futurix ocupa 50 minutos sin aplicar las mejoras, se puede calcular los siguientes ahorros de tiempo:

50 min montaje – 7 min disminución prefiltrado – 5 min disminución de las mangueras – 10 min montaje mangueras del by-pass = 28 min

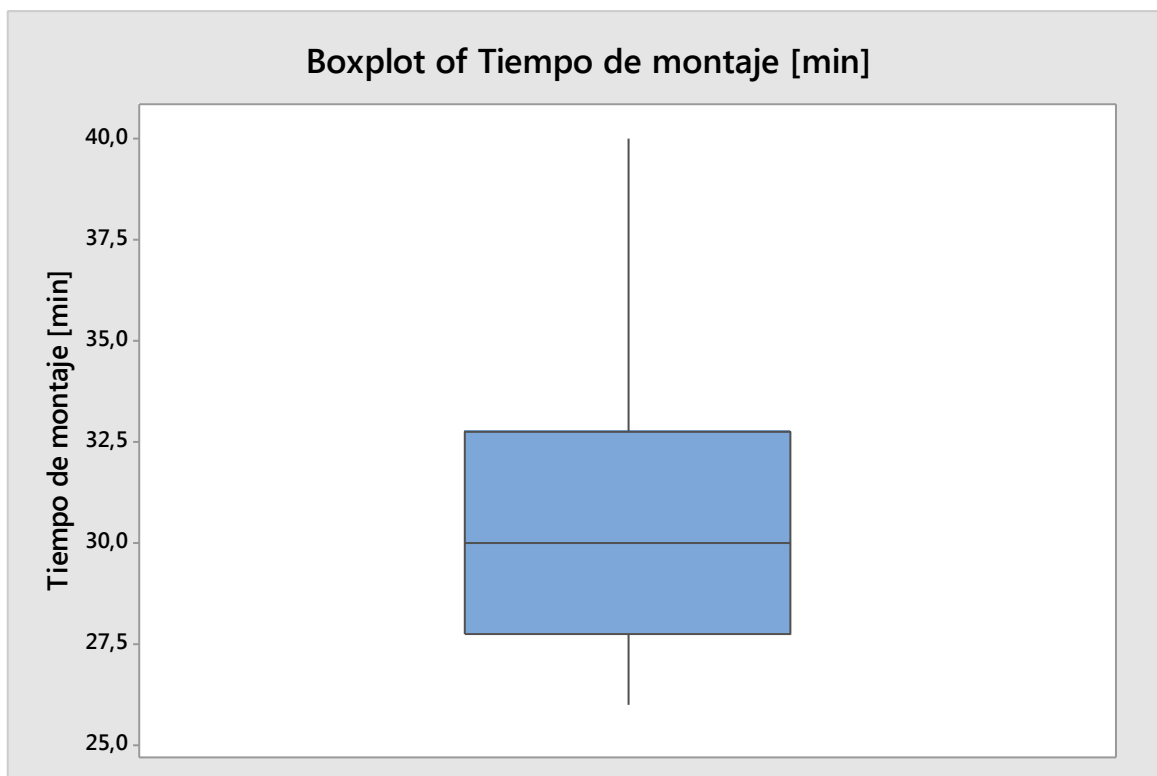
Si aplicáramos la disminución estimada con la que se obtendría gracias a la instalación del nuevo sistema de apertura, se obtendría:

28 min – 10 min = 18 minutos de montaje de Futurix.

Teniendo en cuenta que el objetivo marcado era de 20 minutos, se puede llegar a conseguir el tiempo esperado una vez se instale la nueva apertura de los equipos Futurix.

Para asegurar que el anterior cálculo es aplicable a la realidad, se ha pedido a los envasadores que a lo largo de los diferentes filtrados y envasados apunten en el apartado “Observaciones” el tiempo de montaje. Además, el *Black Belt* supervisó los montajes realizados en horario matutino y en días laborales para comprobar que los datos estaban bien cumplimentados.

Después de 10 filtrados y envasados y realizando un *Boxplot* para representarlos:



Il·lustració 9.6. Boxplot del temps de muntatge de la instal·lació Futurix.

El temps mitjà que se tarda es de aproximadamente 31 minuts, tenint més punts per encima que per debajo a causa de petits desajustes, com per exemple, que un dia no estuieran las mangueras donde tocaban (aun teniendo la ubicación fija en Futurix) o que interrumpieran al envasador mientras hacía su tarea. También hay que tener en cuenta que el montaje depende de la habilidad del envasador y conviene recordar en la formación que es una buena práctica solicitar ayuda a otro trabajador a la hora del montaje para reducirlo lo máximo posible.

Así pues, como la media del *Boxplot* es de 30, teniendo en cuenta que todos los datos por debajo de la media equivalen al 50%, se podría decir que el 50% de los casos cumplirían con el tiempo esperado de montaje, ya que una vez se instalen las apertura de las tapas, podrán llegar a alcanzar los 20 minutos esperados.

Teniendo en cuenta que se realizarán 325 filtrados aproximados en lo que queda del año 2016 para las 4 resinas finalmente estandarizadas por Futurix, y aplicando el ahorro de tiempo de montaje sin tener en cuenta la instalación del nuevo sistema de apertura, se podría llegar a conseguir: 75 horas de ahorro realizando el montaje de 30 minutos en vez de 50 minutos.

9.2.1.2 Reducció del temps real de filtrado:

Con las mejoras efectuadas gracias a la estandarización de las mallas POEX, y con la previsión de toneladas a producir de las 4 resinas estandarizadas en lo que queda de 2016, se puede llegar a obtener 8394 horas de ahorro en tiempos de filtrado y envasado.

Gracias a la implementación de las mallas POEX y a su estandarización, se cree que se puede conseguir este ahorro de horas ya que estas mallas se pueden usar para todos los sistemas de filtrado ya sea Futurix o no. Por lo tanto, en caso de no poder filtrar una de estas resinas por el sistema de filtrado Futurix a causa de la logística de planta y se decida filtrarla por otro sistema, se obtendría el mismo tiempo de filtrado debido a que la malla es la misma.

Este punto no era un objetivo específico del proyecto ya que en un principio se pensaba que los tiempos reales de filtración no variarían pero sí lo haría los totales debido a la disminución de los tiempos de montaje de equipos. Gracias al descubrimiento de las mallas POEX, se ha logrado disminuir estos tiempos por su gran capacidad filtrante, mucho mayor de la que se esperaba. Por esa razón disminuir la media de tiempo real de filtrado no era un objetivo principal, y sí lo era la variabilidad.

9.2.1.3 Reducción de la variabilidad del tiempo de filtrado

Gracias a la estandarización del procedimiento del montaje, de las combinaciones de mallas y de la reducción de aperturas del equipo e instalación del colector, se percibe una disminución de la variabilidad.

En el punto 8.2.3.11 perteneciente a la etapa mejorar se expone los gráficos [] del test de varianzas iguales. En todo los casos la variabilidad resulta igual, por lo tanto estadísticamente no se puede afirmar que haya habido una disminución de ésta. Sin embargo, observando los gráficos sí se puede percibir una leve disminución en todos los casos menos en la Resina B debido a que solo hubo tres pruebas. En la siguiente tabla se muestran las desviaciones estándar:

Resina	Stdev. Antes de las pruebas [min totales/T]	Número de datos	Stdev. Durante y después de las pruebas [min totales/T]	Número de datos	Mejora
Resina A	15,84	13	6,59	7	58%
Resina B	6,49	13	12,02	3	-85%

Resina C	6,05	16	1,62	4	73%
Resina D	11,31	30	4,41	9	61%

Tabla 9.2. Valores de la desviación estándar antes de realizar las pruebas y después junto con el porcentaje de mejora.

Se esperaba una disminución para cada resina de un 20% y se ha obtenido para tres de ellas valores mucho mayores menos para la Resina B. El *Champion* decide que se controlará más esta resina para ver si hay que realizar cambios en la estandarización de mallas en un futuro.

9.2.1.3 Reducción de consumibles

Comparando los consumibles gastados de las 4 resinas durante los días del 01/06/2015 al 25/11/2015, con los que se gastarían con la estandarización de mallas junto con la previsión de mallas a gastar y sabiendo el número de lotes que se fabricarán a lo largo del 2016, se ha calculado una reducción de 1652 uds, que equivale a un 32% de reducción en las 4 resinas y un 12% en el consumo total de la fábrica.

Como en el caso anterior, al referirse a las mallas POEX que se pueden usar en todos los sistemas de filtrado, se ha considerado aceptar el cálculo ya que es el más restrictivo ya que los filtros Futurix son los sistemas de filtrado que más mallas necesitan a la vez (6 mallas más 1 malla del prefiltrado). Tanto la envasadora como los carros móviles usan 2 mallas a la vez más la del prefiltrado, así que en realidad el consumo de mallas se espera que sea ligeramente menor.

No se ha podido llegar al objetivo esperado de reducir los consumibles de toda la fábrica al 30%. Sin embargo, con las previsiones de los próximos años y sabiendo que el negocio quiere aumentar la cantidad de resinas a filtrar por Futurix de 4 a 15, se puede prever un ahorro de 43% de estas 15 resinas estandarizadas que repercutiría a una disminución del 29% de los consumibles totales. Por lo tanto, a largo plazo sí se podría llegar a conseguir reducir los consumibles en un 30%.

9.2.1.4 Evaluación del impacto ambiental

Para realizar el impacto ambiental se considerará que los gastos de agua, gas y electricidad que se gastan en el sistema de filtrado Futurix son los mismos que los que se gastan en los otros sistemas de filtrado. La consideración se basa en un estudio anterior al proyecto por parte del grupo encargado del desarrollo ecológico en la empresa, y que una de sus tareas es controlar la energía que se gasta en cada etapa del proceso.

Es por esa razón que los impactos ambiental han sido los relacionados con la disminución del uso de mallas y la de la reducción de vertidos gracias al establecimiento de una metodología para hacer el by-pass.

Respecto a la reducción de mallas, como se ha logrado disminuir en 1652 uds. Para el año 2016, teniendo en cuenta que cada resina usada pesa 405g, significa una reducción de 700kg anuales de residuo de consumibles.

Respecto a los pequeños derrames que se generaban cada vez que se abrían los equipos, cada derrame correspondían aproximadamente a 3 kg de producto, normalmente los equipos se abrían entre una o dos veces por filtrado. Teniendo en cuenta el número de filtrados al año de las 4 resinas estudiadas, esto equivalía a aproximadamente 1500 kg al año de producto derramado que iba a parar al sistema de alcantarillado y más tarde a la depuradora.

9.2.2. Valoración de los sistemas financieros

Una vez valorado si los objetivos se han cumplido y de qué manera, se debe valorar los presupuestos y el payback del proyecto.

9.2.2.1 Ahorro por horas de montaje y tiempos de filtrado:

Según los cálculos de las horas ahorradas tanto en los montajes de los equipos Futurix como en la duración de los filtrados que se han explicado en los apartados 9.2.1.1 y 9.2.1.2, y sabiendo el sueldo de un operario, se puede calcular el dinero que se ahorrará en el 2016: 2.240€ ahorrados por montajes de Futurix y 167.903€ por horas ahorradas de tiempos de filtrado y envasado.

Anteriormente se ha comentado que en el 2017 se quiere aumentar la estandarización de resinas de 4 a 15. Esto significaría unos ahorros de 6.070€ y 199.801€ por montaje de Futurix y tiempos de filtrado y envasado respectivamente.

9.2.2.2 Ahorro de consumibles:

En el apartado 9.2.1.3 ya se ha discutido la cantidad de unidades ahorradas de consumibles que se llegarían a conseguir en los próximos años. Estos ahorros traducidos a unidades monetarias teniendo en cuenta tanto los costes de compra como los costes de gestión de residuo, da un total previsto es de 23.700 €. Teniendo en cuenta que en el año 2015 se gastó tanto en compra como en gestión de residuos para las 4 resinas estudiadas un total de 32.000€, el ahorro que se obtendría es de 8.300€ en el año 2016.

Respecto al 2017, con el aumento de las resinas estandarizadas, se llegaría a un ahorro de

22.050€ por compra y gestión de residuos de consumibles.

9.2.2.3 Cálculo del *Payback* :

Por último, se puede calcular el *Payback* teniendo en cuenta:

Aumento anual de la demanda	3%
Tasa de interés	8%
Coste fijo de filtrado: Agua, electricidad, herramientas.	50€
Sueldo envasador	20€/h
Sueldo Ingeniero autor del proyecto	8€/h
Porcentaje de mejora esperado para las resinas aun no estandarizadas	60%
Porcentaje de cada resina que no podrá pasar por Futurix por problemas de logística de planta	25%

Tabla 9.3. Consideraciones a la hora de realizar el *Payback*

Donde el *Payback* es de 2 años, así que se empezará a recibir beneficios en el año 2017.

	0	1	2	3	4	5	6
año	0	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Ahorros mallas		6.208 €	16.537 €	17.033 €	17.544 €	18.071 €	18.613 €
Ahorros tiempo filtrado		125.928 €	149.851 €	154.347 €	158.977 €	163.746 €	168.659 €
Ahorros apertura Futurix		1.680 €	4.553 €	4.689 €	4.830 €	4.975 €	5.124 €
TOTAL AHORROS		133.815 €	170.941 €	176.069 €	181.351 €	186.792 €	192.395 €
Inversión							
by-pass	5.000 €						
apertura tapas	9.000 €						
compra de mallas	7.000 €						
estantería	140 €						
Sueldo ingeniero (Ec.21)	7.200 €						
TOTAL INVERSION	28.340 €						
COSTE FIJO							
Sueldo envasadores (Ec.22)		70.000 €	70.000 €	70.000 €	70.000 €	70.000 €	70.000 €
Coste filtrado (Ec.23)		16.800 €	30.350 €	31.261 €	32.198 €	33.164 €	34.159 €
COSTES VARIABLES							
Consumo de mallas		35.826 €	36.901 €	38.008 €	39.148 €	40.323 €	41.532 €
TOTAL PAGOS		122.626 €	137.251 €	139.268 €	141.347 €	143.487 €	145.692 €
flujo tesorería (Ec.24)	- 28.340 €	11.189 €	33.690 €	36.800 €	40.005 €	43.305 €	46.704 €
Flujo tesorería act.(Ec.25)	- 28.340 €	10.360 €	28.884 €	29.213 €	29.405 €	29.472 €	29.431 €
Flujo tesorería acum (Ec.26)	-	17.151 €	44.879 €	70.490 €	76.805 €	83.309 €	90.008 €
Flujo tesorería act. Acum (Ec.27)	-	17.980 €	39.244 €	58.097 €	58.618 €	58.877 €	58.904 €

Tabla 9.4. Cálculo del *Payback* del proyecto.

Se ha considerado que el 25% de las resinas que se deben filtrar via Futurix se harán a lo largo del año o por envasadora o por carros móviles debido a que no se pueden filtrar dos lotes a la vez por Futurix, habrá lotes de resinas con comportamientos anómalos que no se podrán filtrar por este sistema o debido a fallos mecánicos del equipo.

9.3. Resumen de las mejoras implementadas

Todo seguido se resume en una tabla las diferentes mejoras implementadas y la repercusión que ha tenido en el sistema:

Soluciones	Estado	Inversión	Mejoras no monetarias	Mejoras monetarias	€ ahorrados en el 2016	Mejora
Establecer un sistema de prefiltrado al lado de Futurix	Hecho	- €	Reducción de movimientos internos	Disminución de 7-8 minutos	2.240 €	14%-16%
Establecer mangueras específicas para Futurix	Hecho	- €	Reducción de movimientos internos	Disminución de 5-7 minutos		15%-20%
Instalar una estantería con los consumibles al lado del equipo Futurix.	Hecho	140€	Reducción de movimientos internos	Disminución de la probabilidad de no tener stock.		-
Corregir la presión del agua para la limpieza	Hecho	- €	Reducción de la limpieza	Disminuye 10-20 minutos		25%-40%
Instalar una línea con válvulas para hacer el by-pass y eliminar las mangueras	Hecho	5.000 €	Reducción del tiempo de montaje y reducción del tiempo de la realización del by-pass	Disminuye 10 min el montaje, disminuye 15 minutos el by-pass		28% y 99%

Establecer una metodología adecuada para inhibir pequeños derrames ocasionados.	Hecho	- €	Reducción de derrames	Reducción de pérdidas de hasta 3kg por lote	x	-
Hacer formación de Futurix	Hecho	- €	Estandarización del proceso	-	-	-
Instalar un sistema de apertura de las tapas más rápido	Planificado Q3	9.000 €	Reducción del tiempo de montaje	Disminución de 10 min	1.120€	50%
Estandarizar resinas	Hecho	7.000 €	Reducción del tiempo de filtrado real	Mejoras según resinas:		
				Resina A	86%	
				Resina B	71%	
				Resina C	23%	
				Resina D	75%	

Tabla 9.5. resumen de las mejoras implementadas y repercusión.

9.4. Resumen de etapas

Antes de cerrar el proyecto, se resumen todas las etapas.

9.4.1. Definir

En la primera etapa se establecieron las bases para desarrollar el proyecto: se estableció el equipo, los clientes, los objetivos y su métrica y se hizo una valoración económica.

Gracias a la voz del cliente se pudo saber qué aportaba valor a la empresa y al cliente interno y externo. Las diferentes opiniones aportadas por éstos se pudieron plasmar en un diagrama de árbol donde tres ideas resumían a todas las demás: la calidad, los tiempos de filtrado y envasado y los beneficios, que a la vez se podía resumir en una frase: El cliente quiere estandarizar el proceso de filtración y envasado.

Por último se pudieron definir las Y's del proceso mediante las CCC definidas por el cliente: tiempos de filtrado, variabilidad del proceso y gasto de consumibles junto con sus respectivas métricas [min/T] y [Uds.].

9.4.2. Medir

La segunda etapa del proyecto es una de las más largas y laboriosas debido a la gran extracción de información y posterior proceso.

Mediante un diagrama de flujo se pudo extraer las posibles X's que afectaban a las Y's obtenidas en la etapa Definir. Debido a la búsqueda de información se creó una base de datos fiable y útil en un futuro y gracias a las diferentes preguntas que se hicieron sobre el proceso se pudo identificar posibles X's que afectaban las Y's.

Por último se corrigieron los objetivos y las Y's de la siguiente manera:

En vez de buscar la reducción de los tiempos totales de filtrado y envasado, se centra el proyecto en reducir los tiempos de montaje del sistema de filtrado Futurix debido a que éstos son críticos y afectan directamente a los tiempos totales de filtrado. La Y en vez de ser tiempo de filtrado total [min/T], es tiempo de montaje [min].

La reducción de la variabilidad se conseguirá estandarizando el proceso y las mallas a usar. La Y sigue siendo tiempo de filtrado entre cantidad filtrada [min/T].

La reducción de los consumibles también se llevará a cabo gracias a la estandarización de mallas. La Y sigue siendo consumibles gastados [Uds.]

9.4.3. Analizar

Una vez identificadas las relaciones entre X's y Y's, se analizan las X's y diferentes observaciones que se han originado a medida que se iban resolviendo las preguntas de la etapa Medir, para ver con más profundidad de qué forma interaccionan con el proceso. En el caso de este proyecto se estudia el por qué no se usa Futurix regularmente, por qué existe tanta variabilidad en los tiempos de filtrado y envasado sobretudo en la resina A, por qué la resina F muestra tantas demoras, se discute si realmente la resina D es más rápida mediante Futurix, también se analiza de qué manera afectan los tanques origen y el envasador que realiza el proceso a los tiempos y a la variabilidad de los tiempos de filtrado y por último se examina cómo afecta el montaje de Futurix a los filtrados y envasados.

Las conclusiones extraídas gracias a los diferentes análisis es que facilitando el montaje del sistema de filtrado Futurix se podría reducir tanto movimientos internos en fábrica como tiempos de montaje y un aumento de la simpatía de los envasadores hacia Futurix, con lo

que aumentaría el uso. También que se debería potenciar que los filtrados de Futurix provengan de los tanques X, Y, Z debido a su cercanía. Otro asunto es la diferencia de tiempos entre envasadores que verifica la necesidad de realizar una estandarización de la metodología del proceso y un curso posterior.

Se constata la diferencia entre filtrado y envasado y se decide diferenciar estos dos sistemas en las futuras pruebas que se realicen en la etapa Mejorar. Además, gracias a la verificación de la existencia de una mejora en los tiempos totales de filtrado de la resina D, se vaticina una posible mejora en las resinas demás resinas estudiadas. Finalmente se justifica el largo tiempo que se gasta a la hora de montar los filtros.

Por último, se genera una actividad *Lean* para encontrar más problemas y encontrar posibles soluciones a éstos: Análisis de *Gaps*, 5 ¿Por qué? y *Pick Chart*. Debido a esta actividad se genera un listado de soluciones que se analizan en la etapa Mejorar.

9.4.4. Mejorar

En esta etapa se priorizan tareas, y se planifican y generan pruebas. Para reducir movimientos internos se establece un carro de prefiltrado, mangueras y un estantería cercanos a Futurix. Se mejora la operativa del *by-pass* y la apertura de tapas mediante dos proyectos de modificación de equipos, se establece una metodología para reducir derrames y se corrige la presión del agua para realizar la limpieza. Por último se generan pruebas con diferentes combinaciones de mallas para encontrar el juego idóneo para las 4 resinas estudiadas.

Por último se consigue estandarizar el proceso creando un manual de procedimiento y realizando una formación para los usuarios afectados.

9.4.5. Controlar

Una vez implementadas las mejoras probadas en la etapa anterior, se define cómo controlar el proceso estableciendo tres índices y tres grupos de responsables que controlarán cómo se está llevando a cabo el proceso.

Respecto a los objetivos, se valora que no se ha llegado al tiempo de montaje objetivo, pero se podrá llegar una vez se lleve a cabo el proyecto de la apertura de tapas. Respecto a la variabilidad, gracias a la disminución de movimientos internos y a la estandarización se llega a cumplir la reducción del 20%, y por último, no se llega a la reducción del 30% de consumibles en toda la fábrica pero de cara al 2017 se prevé que llegará.

Se valoran los beneficios obtenidos y se calcula el *payback* del proyecto que es de 2 años.

9.5. Lecciones aprendidas

Como estudiante de ingeniería, esta ha sido una muy buena oportunidad para tomar contacto con el día a día de una fábrica química. Para desarrollar este trabajo no solo se han utilizado herramientas aprendidas en el grado de ingeniería química, sino que además la autora ha tenido de desenvolverse en un entorno empresarial trabajando en equipo tanto con los ingenieros de producción y calidad como con los operarios de fábrica y mantenimiento.

El conocimiento sobre aplicación de metodologías continuas en los procesos productivos, la búsqueda de datos fiables y su posterior análisis junto con la selección de mejoras son grandes lecciones que se han aprendido y que seguramente aportarán valor añadido en un futuro al usuario.

9.6. Posibilidad de extensión

A raíz de los estudios generados por este proyecto, se ha motivado distintas actividades relacionadas con *Lean Managment* para reaccionar ante esos *gaps* que han estado fuera del alcance de este proyecto y que el negocio no quiere dejar sin solucionar.

Un tema que ha surgido con mucho interés es el hecho de reducir el número de cartuchos al máximo para todos los productos de la fábrica. Hay algunas resinas que históricamente se ha dicho que se deben filtrar siempre por cartuchos por estudios generados hace más de quince años. Frente las nuevas tecnologías de filtrado, esto no tiene por qué ser así siendo entonces una paradigma. Es por esa razón que se planificará un proyecto para actualizar los estudios y estandarizar el uso de consumibles para todas resinas producidas.

La resina E-129 es un producto que tarda una media de nueve horas en filtrar. Teniendo en cuenta que los datos manipulados durante este proyecto, es mucho tiempo. Además, genera un número de cambios muy alto puesto que no solo hay prefiltrado y filtrado, sino que hay tres niveles de filtrado (mallas + cartuchos + mallas). La calidad en esta resina también es un tema a mejorar ya que genera espuma que acaba desarrollando sedimentos incluso filtrada.

Como es una resina con mucho margen de mejora y viendo los buenos resultados de este proyecto, el negocio decidió generar pruebas para mejorar no solo los tiempos de filtrado sino para eliminar el problema de espuma.

Las pruebas generadas indican una disminución en los tiempos de filtrado de un 75% junto con una disminución de sedimentos en el producto final gracias a la tecnología de las

mallas POEX.

Además, como se ha comentado anteriormente, está previsto aumentar a 15 productos el uso del sistema de filtrado y envasado Futurix debido a los beneficios obtenidos.

Otras posibilidad que ha surgido es la de crear un evento *Workshop* para analizar con gran profundidad el sistema de envasado.

Conclusiones

Observando los objetivos establecidos al inicio del proyecto, se concluye que al menos cuatro de los cinco objetivos establecidos se han cumplido exitosamente: se ha estandarizado tanto el proceso de filtrado de Futurix como los juegos de las mallas para cuatro de las seis resinas estudiadas, hecho que conlleva una disminución de consumibles de material de filtrado. Se ha logrado disminuir los tiempos de filtrado y envasado para las cuatro resinas que se ha podido hacer pruebas y se también la variabilidad que mostraban gracias a la reducción de tiempos de montaje y a la estandarización de mallas antes comentada.

Uno de los objetivos que se deberá valorar si se logra conseguir es el de crear un sistema de monitorización estable, ya que este hecho sólo se sabrá al cabo de unos meses de la instauración.

La implementación y el desarrollo de proyectos *Lean Six Sigma* son complicados y muy extensivos ya que requieren mucho estudio y un amplio conocimiento tanto de las herramientas que usa esta metodología como del proceso que se estudia. Es por esa razón que a causa de la poca experiencia de la autora en el mundo de la implementación de mejoras continuas hay temas que ha faltado profundizar y muchas veces se ha requerido de la experiencia o del *Champion* o del *Master BlackBelt*.

Por otro lado, ha sido una gran oportunidad para aprender el funcionamiento del proceso, la ejecución de proyectos y la coordinación de equipos de personas.

Agradecimientos

Agradezco al personal de la empresa *DSM Coating Resins* por su dedicación y su apoyo en la realización de este proyecto, a Germán Baiges que apostó por mí para llevar a cabo este trabajo y a Jordi Macià que me buscó esta oportunidad para poder desarrollar mi trabajo final de grado. También agradecer sobre todo a mi tutor de proyecto en la empresa, Adrià Belda, que con paciencia me explicó todo el funcionamiento de los proyectos *Lean Six Sigma* además de todo el funcionamiento del proceso de envasado y filtrado.

No puedo dejar de agradecer a José Manuel Hurtado por estar cada día conmigo coordinando las pruebas y a todos los técnicos de turno por su atención además de los envasadores por aceptar mis implementaciones, responder todas las dudas que surgían, que eran bastantes, y por colaborar sin molestias a la hora de observar problemas y aportar soluciones.

Por último, agradecer también a Víctor González y José Manuel Alonso por ejercer tan bien de “padrinos” y facilitar todas las tareas e implementaciones de las mejoras, además de apostar por este proyecto en un futuro aumentando el abanico de productos a filtrar por Futurix.

Bibliografia

Bibliografia complementària

Aquest apartat si s'escau s'ha de presentar de la mateixa forma que la llista de referències anterior, però amb la diferència que en ell poden figurar referències bibliogràfiques consultades o relatives a la temàtica objecte del TFG/TFM, i que no hagin estat citats al llarg del mateix. Haurien d'indicar-se els criteris amb els que s'han seleccionat els documents.